



Elektronik-ABC mit Transistortester



Bauplan 49

Preis 1,– M

Originalbauplan Nr. 49

1. Einleitung

Dieser Bauplan, eine veränderte und um einen modernen Transistortester erweiterte Fassung von Bauplan 41, wendet sich vordergründig an alle, die die ersten Schritte in der Elektronik tun. Er ist aber auch für jene bestimmt, die für ein kleines Problem schnell eine passende Lösung suchen. Für beide Gruppen sind die bis zur Leiterplatte gestalteten Schaltungseinheiten gedacht, deren Anfertigung durch die Kopplung mit entsprechenden »typofix-electronic-special«-Abreibebögen wiederum fast zum Spiel wird. Spielend in die Materie eindringen sollen auch die Teilnehmer in den zahlreichen Elektronik-Arbeitsgemeinschaften an unseren Schulen, die vielleicht schon mit dem »Polytronic-ABC«-Baukastensystem und mit seinen mehr als 70 Versuchen ihre ersten Kenntnisse gesammelt haben. Dieser Bauplan entstand in Anlehnung an das genannte System. Das sichert leichteres Verstehen, das Vorhandensein einer soliden Experimentierbasis und Unabhängigkeit von Leiterplattenproduzenten.

Der Sinn, eine erprobte Schaltung – im Baukasten notwendigerweise nur »flüchtig« vorhanden – auf einer Leiterplatte »einzufrieren«, hat zwei Aspekte: Zum einen steht die als zweckmäßig erkannte Grundschaltung ständig zur Verfügung, z. B. zur Verknüpfung mit weiteren Schaltungseinheiten oder in Baukastenversuchen komplexerer Art. Zum anderen lassen sich zahlreiche kleine Aufgaben in Schule und Patenbetrieb, aber auch zu Hause, mit solchen Bausteinen elegant lösen. Für beide Zwecke erschien es günstig, mit nicht zu kleinen Standardformaten zu arbeiten, um gerade dem Anfänger nicht durch unnötige Kompaktheit zusätzliche Einarbeitungsprobleme zu schaffen. Außerdem ist es dem (später) Fortgeschrittenen so leichter möglich, Änderungen (Bauelementewerte) oder Verbesserungen bzw. Erweiterungen anzubringen. So wurde z. B. auch nicht immer streng nach der Baukastenvorgabe dimensioniert. Man bedenke den begrenzten Bauelementevorrat eines Baukastens gegenüber der »optimierungsfreundlichen« Freizügigkeit beim Selbstbau! Die Formatgröße wurde auch auf die Maße der »typofix«-Folie abgestimmt, was wiederum zu deren optimaler Ausnutzung führt. Dieses neue Bausteinsystem soll auch als Ausweg aus dem lange Zeit eingesetzten System »Amateurelektronik« verstanden werden, dessen Leiterplattensortiment nicht weiterentwickelt werden konnte und darum auch nicht mehr produziert wird. »typofix« ist der nahezu ideale Ausweg aus dieser Situation: ein bei Bedarf jederzeit vorhandenes erneuerbares und erweiterungsfähiges Sortiment »auf Abruf« herstellbarer Leiterplatten, die somit auch volkswirtschaftlich äußerst rationell – verglichen mit dem vorher nötigen langen Weg bis zur Produktion und vor allem auch marktgerechten Lagerhaltung – erst dann entstehen, wenn sie der Nutzer tatsächlich benötigt. In Verbindung mit einfach zu handhabenden Ätzsätzen, die im Handel angeboten werden oder auch an den Schulen vorhanden sind, ergibt sich damit sowohl für jeden ständigen als auch für den »Gelegenheits«-Hobbyelektroniker die Möglichkeit, elektrische Problemstellungen sauber und zuverlässig zu lösen.

Über den Rahmen einer nach praktischen Gesichtspunkten ausgewählten Typensammlung von Grundschaltungen des Baukastens hinaus rundet dieser Bauplan das Sortiment um eine Baueinheit ab, mit der ökonomischer Dauerbetrieb von Schaltungen aus einem Klingeltransformator möglich ist.

Der praktische Einsatz der meisten Leiterplatten (wenn sie nicht ausschließlich im Experiment genutzt werden) hängt von einem zuverlässigen Schutz gegen äußere Einflüsse ab. Daher werden in diesem Bauplan auch Tips zur Gestaltung von Eigenbaugehäusen für die Bausteine gegeben.

Gegenüber Bauplan 41 wurde eine Reihe aktueller Informationen eingearbeitet. Der neu hinzugekommene Transistortester wird die Arbeit mit den Schaltungen wirkungsvoll unterstützen. Aus Platzgründen mußten daher die Ausführungen über einfache Empfänger entfallen. Für sie gibt es die Mitte 1981 erschienene Broschüre »Empfänger für Anfänger«, Band 28 der Reihe »Der junge Funker«. Sie enthält alle Bestückungs- und Stromlaufpläne, die für Leiterplatte Nr. 7 interessant sind. Auch auf die Wiedergabe der Leiterbilder selbst wurde diesmal verzichtet – sie liegen ja auf der wieder parallel zum Bauplan erscheinenden »typofix«-Folie vor.

2. Kurzinformation zum Experimentier-Baukastensystem »Polytronic-ABC«

Das Baukastensystem besteht aus den Stufen A (Grundausstattung Elektrotechnik/Elektronik), B (Funktechnik) und C (Elektronik). Man kann auch alle drei Stufen in einem einzigen Baukasten erwerben und verfügt dann u. a. über 6 Fest- und 3 Stellwiderstände, 5 Kunststoff- und Elektrolytkondensatoren, 1 Drehkondensator, 3 Spulen, 1 Fotowiderstand, 1 Heißleiter, 2 Glühlampen, 2 Transistoren, 1 Diode, 1 Relais, 1 Motor, 1 Kopfhörerkapsel, 1 Taster, 1 Schalter sowie ein Sortiment von Kontaktklemmen. Die Bauelemente befinden sich einzeln auf steckbaren Trägern, die nach Bedarf beliebig auf eine Experimentierplatte gesteckt und mit den Verbindungskabeln zusammengeschaltet werden können. Die Kontaktklemmen greifen um lange Rohrniete, an denen sich jeweils mehrere Anschlüsse anbringen lassen. Diese Verbindungen sind einfach herzustellen und recht zuverlässig. Die Verdrahtung der im Anleitungsheft vorgegebenen Schaltungen (mehr als 70!) bleibt stets übersichtlich. Über eine Anschlußschiene ist es möglich, unübersichtliche Anschlußhäufungen, z. B. auf der Masseseite, aufzulösen. Sowohl die Herstellung dieser Kontaktbauelemente und der Aufbau der Batteriehalterung wie auch die Funktion aller elektrischen und elektronischen Bauelemente werden vor Beginn der Versuche erläutert. Die Versuche selbst gliedern sich in Aufbau, Durchführung, Ergebnis und Auswertung. So wird der Nutzer mit zahlreichen elektronischen Grundschaltungen und ihren Anwendungen vertraut gemacht.

Der Bauplan knüpft an diese Schaltungen an. Für seine Nutzung ist jedoch der Baukasten nicht Voraussetzung. Damit können auch alle Bauplanleser, die keinen Zugang zum »Polytronic-ABC« haben, nach diesem Bauplan arbeiten. Gegenüber dem Baukasten sind an einigen Stellen günstigere Lösungen möglich, u. a. dort, wo die Baukastentransistortypen schon etwas überfordert sind, nämlich bei höheren Strömen. Für Arbeitsgemeinschaften folgt daraus umgekehrt, daß sie möglichst den einen der beiden Transistoren vorteilhaft durch einen *SF 126 D/E.* o. ä. ersetzen können. Damit wird es bei einem großen Teil der Schaltungen auch möglich, mit einer Flachbatterie von 4,5 V oder sogar mit 2 × *RZP 2* (also 4 V) auszukommen, da die Sättigungsspannung des *SF 126* klein genug ist.

3. Technologisches

3.1. Bauelement »Leiterplatte«

Seit etwa 20 Jahren gehört die Technik der gedruckten Schaltungen mit ihren inzwischen weitverzweigten Technologien zu den für die rationelle Fertigung elektronischer Geräte wichtigsten Verfahren. Diese Technik in Form der Variante »fotomechanisches Verfahren« war letztlich sogar mitbestimmend für die Möglichkeit, integrierte Schaltkreise herzustellen.

Für die Bausteine wird eine der einfachsten Leiterplattentechniken (wenn man das Ritzen einmal ausklammert), nämlich das direkte Aufbringen eines ätzfesten Leiterbilds auf die Kupferfolie des Halbzeugs, benutzt. »typofix-electronic-special«-Folie, ein von Abreibebuchstaben und -zahlen her bekanntes Verfahren, sichert saubere, im Rahmen des Nötigen maßhaltige und »bohrfertige« Leiterbilder.

Seit Bauplan 41 wurden dazu spezifische Erfahrungen gemacht, erstmals in Bauplan 46 zusammengefaßt:

Hinweise zum Umgang mit ätzfester »typofix-electronic«-Folie

Seit einiger Zeit werden die handelsüblichen Ätzsätze für Leiterplatten nicht mehr mit Eisen(III)-chlorid ausgeliefert, sondern mit dem »umweltfreundlicheren« Ammoniumpersulfat. Das führte bei vielen Amateuren zu Umstellungsschwierigkeiten, denn dieses Ätzmittel hat andere Eigenschaften als Eisen(III)-chlorid. Entscheidend für eine erfolgreiche Umsetzung eines Leiterbilds in eine Leiterplatte bei Benutzung von »typofix«-Folie ist jedoch stets der dem Ätzen vorausgehende Arbeitsprozeß. Beim Ätzen selbst sind allerdings einige Randbedingungen zu beachten, die teils auch auf Eisen(III)-chlorid zutrafen, teils für Ammoniumpersulfat spezifisch sind. Gemeinsam ist beiden Ätzverfahren die Möglichkeit der Beschleunigung des Ätzprozesses durch erhöhte Badtemperatur. Während beim Eisen(III)-chlorid

40 °C empfohlen werden, tritt eine entscheidende Zeitverkürzung bei Ammoniumpersulfat zwischen 60 und 80 °C auf. Doch auch mit 40 bis 50 °C sind brauchbare Zeiten (bei frischer Lösung 30 min als Erfahrungswert) zu erzielen. 50 °C sind auf Grund entsprechender Versuche auch als oberster Grenzwert für die Verarbeitung von Haftdruckfolie-Leiterbildern zu betrachten. Das mag einer der Gründe für die Bevorzugung von Eisen(III)-chlorid gegenüber Ammoniumpersulfat durch die Anwender gewesen sein.

Kritischer verhält sich Ammoniumpersulfat bezüglich ablösender Kräfte auf Deckschichten beliebiger Art. Mit zunehmender Temperatur (und hauptsächlich bei neuangesetzter Lösung) treten Sauerstoffblasen auf, die auf die Deckschicht mechanisch einwirken. Daher ist besonders eine einwandfreie Kantenhaftung von wesentlicher Bedeutung für die Haltbarkeit der Deckschicht während des Ätzprozesses. Diese Haftung wird jedoch durch die dem Ätzvorgang vorgeschalteten Arbeitsgänge bestimmt. Schließlich hängt die notwendige Dauer der Ätzung auch stark von der Beschaffenheit der unbedeckten Kupferpartien ab. Daher ist die saubere Übertragung der Haftdruckfolie auf die Kupferfläche ohne Abdrücke von Wachs neben dem Vermeiden von Fettspuren eine entscheidende Voraussetzung für die Qualität der Leiterplatte. Wo sich solche Abdrücke nicht vermeiden ließen, ist sachgemäßes Entfernen dieser Fremdschicht vor dem Ätzen als wesentlicher Arbeitsgang zwischenzuschalten. Dabei hat sich das früher oft empfohlene Waschbenzin mit Wattebausch aus zwei Gründen als relativ problematisch erwiesen: Zum einen wird das Wachs u. U. mehr verteilt als entfernt, zum anderen sind vor allem schmale Leiterzüge stärker gefährdet. Auch Spiritus ist wegen des letztgenannten Umstands weniger zu empfehlen. Selbst konzentrierte Spülmittellösung sollte nicht verwendet werden. In einer Verdünnung von etwa 1 : 1000 (Spülmittel : Wasser) in saugfähigem weichem Papier (z. B. Papiertaschentuch) läßt es sich jedoch zum Entfernen von Fett- und Wachsspuren gut einsetzen. Zusammengefaßt empfiehlt sich als einer von mehreren möglichen Wegen bei der Verarbeitung von Leiterbildern aus Haftdruckfolie dieser Ablauf:

- Mechanisches Säubern und dabei leichtes (!) Aufrauhen der Kupferschicht mit Schleifpapier feinster Körnung; Scheuerputzmittel führen dagegen zu schlecht zu entfernenden, wasserabweisenden Schichten; bei ihrer Verwendung daher besonders gut entfetten, z. B. mit Bürste!
- Entfetten mit Spülmittel oder (und) kurzes Baden in Silberputzmittel (z. B. »Blanka blink«)!
- Trocknen mit sauberem, saugfähigem Tuch!
- Aufbringen der Leiterzüge konsequent nur durch Nachziehen der schwarzen Flächen mit Kugelschreiber oder weichem, verrundetem Bleistift!
- Leichtes Andrücken durch die Trägerfolie hindurch auf die Schicht!
- Vorsichtiges, langsames Abheben der Trägerfolie, ggf. hängengebliebene Partien nachreiben (Notwendigkeit von »Vorgeschichte«, u. a. der Lagerung der Folie, abhängig; Qualitätsfrage)!
- Andrücken des Leiterbilds mit der sauberen Fingerkuppe!
- Festes Andrücken (»Kantenstabilisierung«) des Leiterbilds mit einem Gummirollenquetscher (Fotobedarf), mehrmals kreuz und quer über die Platte geführt!
- Mechanisches Abreiben von Fremdschichten mit weichem, aber festem Papier, in Spülmittellösung angefeuchtet – Haftfestigkeit der Deckschicht berücksichtigen!
- Ätzen in Ammoniumpersulfat, 50 g in 250 cm^3 Wasser von maximal 50 °C gelöst; z. B. unter einer Tischlampe bei Thermometerkontrolle zur weiteren Einhaltung dieser Temperatur!
- Spülen, Kontrolle (ggf. mit Stichel oder Messer Kupferreste entfernen), Abschaben der Deckschicht z. B. mit Kante eines Halbzeugstücks!
- Oberfläche in »Blanka blink« säubern, spülen, mit Tuch trocknen und mit Schutzlack aus dem Ätzsatz dünn überziehen!

3.2. Bestücken und Löten

Zu diesen Arbeitsgängen findet der Leser ausführliche Beschreibungen in den Büchern »Amateurtechnologie« und »Bauplan-Bastel-Buch«. Da nicht vorausgesetzt werden kann, daß diese Bücher allen Neulingen zur Verfügung stehen, sei aus letztgenanntem Buch – mit entsprechenden Änderungen – der betreffende Abschnitt wiedergegeben, denn er enthält alle wichtigen Informationen. Es empfiehlt sich diese Reihenfolge:

- Einsetzen aller Bauelemente, die einen bestimmten mechanischen Aufwand erfordern wie das Einpressen von Lötösen mit einer stabilen Zange bei bruchsicherem Auflegen der Leiterplatte rings um das betreffende Loch (z. B. auf dem zu einem Spalt geöffneten Schraubstock)!
- Einsetzen der Bauelemente, deren Lage durch starre oder halbstarre Anschlüsse zwangsläufig vorgegeben ist. Als starr rechnen z. B. Trimmpotentiometer, Relais u. ä. Halbstarr sind Elektrolytkondensatoren in stehender Ausführung, da man sie notfalls auch einmal etwas schief einbauen kann.
- Einsetzen der Bauelemente, deren Lage infolge ihrer biegsamen Anschlüsse den restlichen freien Flächen angepaßt werden kann. Das trifft vor allem auf Widerstände und (begrenzt) auf Kondensatoren mit Drahtanschluß zu. Jedes Bauelement wird sofort eingelötet. Im allgemeinen sind Bauelementeanschlüsse einwandfrei verzinnt und damit bei sachgemäßer Lagerung (am besten in geschlossenen Behältern) auch leicht zu löten.

Dennoch ist jeder Anschluß vor dem Einsetzen des Bauelements zu überprüfen, und zwar an der Stelle, die später zur Lötstelle gehört. Bei den älteren Ausführungen von 1/10- und 1/20-W-Widerständen, deren Fahnenanschlüsse man oft beim Einführen in die Löcher der Leiterplatte nicht abbiegt, wird meist die Schutzlackschicht auch auf den ersten Millimetern der Anschlüsse vorhanden sein. Vorher vom Lack befreien und die Anschlüsse verzinnen! Allerdings ist bei kurzen Anschlußenden im allgemeinen große Vorsicht gegenüber zu langer Lötzeit und zu hoher Löttemperatur geboten. Das trifft auch für Elektrolytkondensatoren zu, in besonderem Maße aber für Halbleiterbauelemente. Ihre Anschlüsse sollte der Anfänger nicht kürzen, sondern sie mit Isolierschlauch schützen und die Bauelemente so anordnen, daß sie mit ihren Kappen keine anderen Bauelemente kurzschließen können.

Die Lötzeit ist um so kürzer, je besser der Anschluß vorbereitet worden ist. Für den Amateur bedeutet das, am besten alle Bauelementeanschlüsse, auch dann, wenn sie schon verzinnt worden sind, kurz vor dem Einbau nochmals neu zu verzinnen. Oxid- oder Lackreste werden vorher mit Schmirgelleinen, einem Glasfaserpinsel oder mit dem Taschenmesser entfernt. Dann den Anschluß mit einem Tropfen säurefreier Löttinktur benetzen, wie sie z. B. als »Löttinktur Nr. 23« in kleinen Flaschen im Amateurbedarfshandel angeboten wird. Diese Stelle verzinnt man dann schnell und sauber mit dem Lötkolben, dessen Spitze nach dem Eintauchen in Flußmittel etwas frisches Zinn aufgenommen hat. Für sauberes Löten sind folgende Bedingungen zu erfüllen: zunderfreie, ausreichend, aber nicht tropfend verzinnte Lötkolbenspitze, deren Zinn von Flußmitteloxidhaut frei gehalten wird; Flußmittel auch auf den zu verzinnenden Anschluß aufbringen. Die Lötkolbenspitze, sooft das nötig ist, säubern, z. B. durch Abstreifen der verbrannten Flußmittelrückstände an einem Leinenlappen! Zunder beseitigt man im kalten Zustand mit Drahtbürste oder Feile, falls es sich nicht um eine vergütete, zundersichere Spitze handelt. Einige Worte zum Lötkolben selbst: Geeignet sind für Leiterplatten Lötkolben zwischen etwa 20 und 40 W. Als Beispiel sei das vom VEB *Elektromechanische Werkstätten* Woltersdorf zusammengestellte Lötbesteck »Delta-Quick-Junior« genannt.

Der Lötkolben muß folgende Bedingungen erfüllen: Der bereits sauber verzinnte Draht (0,6 bis 0,8 mm Durchmesser) muß sich mit dem Lötauge (etwa 2,5 bis 3,5 mm Durchmesser) innerhalb einer Sekunde zu einer einwandfreien Lötstelle vereinigen lassen, bei der während des Lötvorgangs das Zinn eindeutig den Draht umfließt. Teigige Konsistenz bedeutet zu schwachen Lötkolben, zu weit herausgezogene Spitze oder zu niedrige Betriebsspannung. Eine zu hohe Temperatur zeigt sich bereits am Lötkolben dadurch, daß sich das Zinn auf seiner Spitze in kürzester Zeit (in einigen Sekunden) mit einer grauen Haut überzieht bzw. daß beim Löten das Flußmittel verbrennt, statt die Oberflächenspannung des Zinns zu verringern und Oxidhäute zu beseitigen. Die meist schraubendreherähnliche Lötkolbenspitze ist für einen Mehrzweckkolben gut geeignet. Mit ihr lötet man entweder kurz hintereinander von zwei Seiten am aus dem Lötauge herausragenden Bauelementedraht oder benutzt die Fläche in folgender Weise: Zunächst erhält die künftige Lötstelle samt Bauelementeanschluß wieder einen Tropfen Flußmittel. Danach ist der Anschluß unter die Folie ins Loch zurückzuziehen, denn nur so kann die Lötkolbenspitze das gesamte Lötauge zunächst flächenhaft verzinnen. Wenig später wird der Anschluß wieder durch das Loch geschoben und dadurch ebenfalls vom noch flüssigen Zinn erfaßt. In dem Maße, wie der Bauelementeanschluß wieder auftaucht, hebt man den Lötkolben ab. Wie lang soll das durch die Platte hindurchragende Ende des Anschlusses sein? Für den Amateur empfiehlt es sich nicht, Anschlüsse des besseren Haltes wegen auf der Leiterplatte umzubiegen. Er hat dann beim evtl. nötigen Auswechseln große Schwierigkeiten. Besser ist es, das Bauelement in seine stabile Lage auf der Platte zu drücken, so daß es später die Folie der Lötstelle nicht von der Plattenoberfläche weg mechanisch belasten kann, denn dadurch reißt sie vielleicht ab. Das gilt besonders für schwere oder durch Bedienvorgänge mechanisch belastete Bauelemente. Jetzt ist der Anschluß etwa 1 mm über der Folieseite abzuschneiden. Anschließend wird in der bereits beschriebenen Weise unter Zugabe eines Tropfens Flußmittel und mit gerade ausreichend frisch verzinntem Lötkolben gelötet.

3.3. Schützen und Prüfen

Damit die fertige Schaltung sauber wirkt, kann sie leiterseitig mit Spiritus abgewaschen werden. Dabei soll möglichst keine Lösung auf die Bauelementeseite gelangen, denn die dadurch entstehenden Flecken stören den Gesamteindruck. Anschließend wird die Leiterseite mit frischem Schutzlack, einer Kolophonium-Spiritus-Lösung oder auch Haarlackspray überzogen. Falls man sich der Mühe unterzogen hat, alle Leiterbahnen zu verzinnen, ist ein solcher Lackschutz nicht unbedingt nötig. Durch Vollverzinnung vor dem Bestücken läßt sich übrigens schnell eine saubere Lötstelle herstellen.

Die fertige Einheit muß nun noch einigen Tests unterzogen werden, bevor sie mit der vollen Betriebsspannung belastet wird. An dieser Stelle sei noch die Empfehlung nachgetragen, schon die Leiterplatte mit einer Lampe zu durchleuchten, so daß sich bereits vor dem Bestücken Brücken oder Unterbrechungen erkennen lassen. Mit Schadstellen muß beim Ätzprozeß infolge fehlerhafter Deckschicht immer gerechnet werden! Es ist nicht möglich, für den Funktionstest einer gedruckten Schaltung sehr spezielle Hinweise zu geben, denn das hängt stark von der Art der Schaltung ab. Auf jeden Fall ist so vorzugehen, daß der Test zeigt, ob Gefahrenstellen durch falsch eingebaute Bauelemente oder durch Zinnbrücken bestehen. Zinnbrücken erkennt man bei sorgfältiger Betrachtung der Leitungsseite (ggf. wieder durchleuchten) im Vergleich mit dem Leiterbildentwurf. Die richtige Lage aller Bauelemente und ihre Werte werden an Hand des Bestückungsplans kontrolliert. Anschließend ist es möglich, mit einem Begrenzungswiderstand und einem Ampere-

meter sowie mit einer (richtig gepolten!) Stromquelle von höchstens Nennspannung der Schaltung festzustellen, ob die Schaltung evtl. zu hohen Strom aufnimmt. Erst dann, wenn die Schaltung auf solche Tests »normal« reagiert, sollte man sie den vorgesehenen Betriebsbedingungen aussetzen. Das spart Bauelemente und Zeit. Es wird empfohlen, bei umfangreichen Schaltungen die Transistoren zunächst noch nicht mit einzulöten, sondern vorher an ihren Anschlußpunkten bei an der Schaltung angelegter Betriebsspannung Kontrollmessungen vorzunehmen, aus denen z. B. unzulässige Spannungen an den Basisanschlüssen zu erkennen sind.

3.4. Spezielle Hinweise

Die Leiterplatten dieses Bauplans – alle im Format 40 mm × 50 mm – können, wie schon angedeutet, auf zweierlei Art kontaktiert werden: durch handelsübliche 1-mm-Stecklötösen oder über die Anschluß-»Röhrchen« des Polytronic-Systems; das sind längere Rohrniete mit Gewinde für M3-Senkschrauben. An sie passen die Klemmverbindungen der Baukästen. Man entscheidet nach Haupteinsatzzweck; der an fertigen Geräten interessierte Amateur wird Stecklötösen bevorzugen, Arbeitsgemeinschaften dagegen sollten versuchen, diese Rohrniete zu erhalten (Bild 1). Ein weiteres spezielles Bauelement für viele Leiterplatten ist die Kleinglühlampe. Für sie wurden stets drei Lötpunkte vorgesehen, die auf drei Arten benutzt werden können (Bild 2): Einlöten einer geeigneten Fassung, die als unteren Anschluß nur eine kleine Lötöse oder sogar nur eine lötbare, gelochte Blechscheibe enthält, Einlöten der Lampe selbst (was Erfahrung voraussetzt wegen des unteren Lampenanschlusses) oder Selbstbau einer Lampenfassung aus einer Drahtwendel; Gegenkontakt ist dann ein abgewinkeltes Drahtstückchen. Außerdem kann – was für viele Zwecke von Vorteil ist – die Lampe auch außerhalb des Bausteins montiert werden. In diesem Fall wird wieder über Stecklötösen kontaktiert. Schließlich gestatten viele der Schaltungen auch den Anschluß anderer »Verbraucher«, etwa von Relais für größere Ströme, die dann auch an anderer Stelle eines kleinen Geräts mit dem betreffenden Baustein montiert werden können. Manche der ohne Eingangssteuerung arbeitenden Einheiten tragen dennoch Eingangsanschlüsse. Sie stellen für den Fortgeschrittenen zusätzliche Steuermöglichkeiten dar. Alle Leiterplatten haben in den Ecken Lötaugen. Dort können 1-mm-Löcher für Drähte angebracht werden, mit denen die Platte in einem Gehäuse montiert wird (z. B. thermisch in Polystyrol eingedrückt); oder man bringt 2-mm-Durchgangslöcher oder Gewinde für M2-Schrauben an. Oft genügen zwei der vier Befestigungspunkte. Näheres dazu siehe Abschnitt 7.

4. Ausgewählte Schaltungsbeispiele auf Leiterplatten

Im folgenden werden mit Stromlaufplan, kurzer Funktionserläuterung und Bestückungsplan zur »typofix«-Leiterplatte ausgewählte Baukastenschaltungen – ggf. zweckentsprechend variiert – zum Nachbau mit Hilfe von »typofix-electronic-special«-Folie (oder auch mit Decklack gezeichnet) vorgestellt. Sie können zunächst (baukastenüblich) aus Batterien betrieben werden. Abschnitt 5. behandelt eine transformatorgespeiste Stromversorgungseinheit. Zur Erhöhung der Freizügigkeit beim Nachbau sind viele der Leiterbilder für mehrere Schaltungen geeignet. Man kann also nach Notwendigkeit über ihre Bestückung entscheiden; gebohrt werden dann immer nur die lt. Bestückungsplan nötigen Löcher. Beim Entwurf wurde versucht, mit möglichst wenig »Blindelementen« (also Drahtbrücken und frei bleibende Lötaugen) auszukommen, denn das verwirrt sicherlich besonders den Anfänger. Eindeutige Auskunft über die Belegung zum jeweils benutzten Beispiel gibt stets der Bestückungsplan.

4.1. Verzögerungsschalter

Wenn im Theater das Licht langsam dunkler wird oder wenn die Modellbahn vor einem Haltesignal langsam zum Stehen kommt, dann sind heute meist automatische Verzögerungsschalter im Spiel. Zu den Grundkenntnissen der Transistortechnik gehört das Wissen um den Begriff »Stromverstärkung«. Für den Anfang reicht dies: Die Kollektor-Emitter-Strecke eines Transistors läßt (fast) keinen Strom fließen, solange die Basis-Emitter-Strecke keinen Strom erhält. Ist das der Fall, so hat der Strom I_{CE} einen um den Faktor B höheren Wert als der Strom I_{BE}. Die Basis-Emitter-Strecke hat den Charakter einer Diode. Sie braucht eine Mindestdurchlaßspannung, bevor sie leitet. Für Siliziumtransistoren sind das 0,6 bis 0,7 V, Germaniumtransistoren leiten schon ab etwa 0,2 V. Das Ohmsche Gesetz, auf die Berechnung von I_{BE} angewendet, stimmt also nur, wenn man diese Spannung von der Batteriespannung abzieht.

So fließt von der Stromquelle mit der Spannung U_B nur der Strom $\frac{U_B - U_{BE}}{R_V}$ in die Basis-Emitter-Strecke, wenn R_V der Widerstand zwischen U_B und der Basis ist. Im vorliegenden Fall (Bild 3) ist der Transistor ein nach seiner Leitfähigkeitszonenfolge genannter npn-Typ. Er braucht an Basis und Kollektor positive Betriebsspannungen, bezogen auf den Emitter als gemeinsame Elektrode. Fließt Kollektorstrom, so bleibt am Transistor eine Restspannung, auch bei noch so hohem Basisstrom. In diesem Bereich ist der Transistor »gesättigt«. Über einem Widerstand zwischen U_B und Kollektor wird also stets weniger als U_B zu messen sein. Dieser Widerstand ist in Bild 3 eine Kleinglühlampe. Ihren Kaltstromstoß (6- bis 8facher Nennstrom für kurze Zeit beim Einschalten) muß der Transistor aushalten. Für eine 4-V-Lampe mit 50 mA oder für eine 3,8-V-Lampe mit 70 mA reicht ein SF-Typ mit 500 mA Kollektorstrom mit Sicherheit aus. Wird durch entsprechend begrenzten Basisstrom verhindert, daß der Transistor mehr als seinen zulässigen Kollektorhöchststrom durchläßt, so besteht eine zusätzliche Sicherheit. Allerdings ist zu bedenken, daß U_{BE} mit wachsender Temperatur um etwa 2 mV/K kleiner wird, so daß $U_B - U_{BE}$ und damit I_B wächst, während gleichzeitig auch B sowohl mit der Temperatur als auch (in einem gewissen Bereich von I_C) mit dem Kollektorstrom I_C wächst. Der Nennbasisstrom in der vorgestellten Schaltung beträgt etwa 0,4 mA, wenn $R_V \approx 10\ \text{k}\Omega$ und $U_B = 4{,}5$ V. »Etwa« bedeutet, daß die Widerstände zulässige Toleranzen (10 oder 20 % des Nennwerts) haben und daß die wirkliche Klemmenspannung z. B. einer Flachbatterie bei Belastung und abhängig von Alter und Entladezustand unter 4,5 V liegt. Will man sie z. B. bis 3 V ausnutzen, so muß für 70 mA Kollektorstrom wegen $I_{Bmin} = \frac{(3 - 0{,}6)\ \text{V}}{10\ \text{k}\Omega}$ mA die Stromverstärkung des Transistors für 70 mA wenigstens $\frac{70\ \text{mA}}{I_{Bmin}}$ betragen, also etwa 290. Dazu benötigt man z. B. einen *SF 126 E*, denn Gruppe E heißt Stromverstärkung 224 bis 560 (Wert bezieht sich allerdings exakt auf eine Kollektorspannung von 2 V bei 50 mA Kollektorstrom). Da Gruppe D – überlappend – bis 280 reicht, tut es notfalls auch ein gutes D-Exemplar. Real fließen bei 3 V (minus einige hundert Millivolt Kollektorrestspannung) aber weniger als 70 mA durch die Lampe. Sie glimmt noch bei etwa 30 mA, der Typ 4 V/0,05 A aus dem Baukasten sogar bis 20 mA herab. In diesem Bereich wirkt sich also ein entsprechender Basisstrom noch sichtbar aus.

Der Verzögerungsbaustein reagiert beim Einschalten des Basiskreises nur unmerklich »verzögert«. Die Lampe leuchtet nahezu sofort auf. Öffnet man diesen Stromkreis jedoch, so durchläuft sie deutlich erkennbar einen Bereich immer kleiner werdender Helligkeit bis zum Verlöschen.

Daß ein Kondensator elektrische Ladungen speichern kann, ist aus den Baukasteninformationen oder aus dem Unterricht bekannt. Beim Einschalten fließt daher zunächst ein kurzer Ladestromstoß, der nur durch den 100-Ω-Widerstand begrenzt wird und damit eine Anfangsspitze von $\frac{U_B}{100\ \Omega}$ hat. Nach der Zeit 3 *RC* ist er nahezu abgeklungen; dann fließt nur noch der Basisstrom des Transistors. Da ein Elektrolytkondensator meist eine wesentlich über dem Nennwert liegende Kapazität hat (z. B. bis 50 %), ist die Zeitspanne erheblich größer als errechnet. Das gilt auch für die Entladung. Die Toleranzen der Widerstände dagegen sind kleiner; am häufigsten werden solche mit ± 10 % Abweichung benutzt. Die errechnete Zeit von $3 \cdot 100 \cdot 470 \cdot 10^{-6}$, etwa 0,14 s, macht sich auch darum kaum bemerkbar, weil bereits von einer Kondensatorspannung von etwa 1,8 V an ein genügend hoher Basisstrom erreicht ist, so daß die Lampe gut erkennbar zu leuchten beginnt. Gegenüber dem Baukastenversuch sind die Ergebnisse auf der vorliegenden Leiterplatte eindrucksvoller, denn erstens kann man, da beliebig wählbar, den oberen Grenzwert des Basiswiderstands einsetzen, bei dem der Transistor noch genügend geöffnet wird, und zweitens ist der im Baukasten enthaltene Transistortyp (z. B. *SC 206*) für Lampenansteuerung auch etwas überfordert. Er hat nämlich bei diesen Strömen bereits eine recht hohe Sättigungsspannung (u. U. mehr als 2 V, der verwendete Typ dagegen zeigt bei 50 mA weniger als 100 mV!), und seine Stromverstärkung liegt bei 50 mA schon erheblich unter dem Nennwert (bei diesem Typ bei nur 2 mA festgelegt). Schließlich kann die Leiterplatte sogar noch einen 1000-μF-Kondensator fassen. All das führt dazu, daß beim Auftrennen des Basiskreises die Lampe noch wenigstens etwa 8 s lang zunächst hell, dann schnell dunkler werdend leuchtet. Denkt man sich statt der Lampe z. B. ein Relais ähnlichen Widerstandswerts und mit einem Abfallstrom von z. B. 10 mA, so können mit diesem noch wesentlich größere Zeiten erreicht werden. Die Leiterplatte für diesen Verzögerungsschalter ist die Nr. 01

(s. »typofix«-Blatt); sie wird nach Bild 4 bestückt. Die beiden Eingangsanschlüsse können direkt von einem Schalter, aber auch indirekt von einer anderen Schaltung aus angesteuert werden (z. B. von einem Relais, einer Transistorstrecke aus einer getrennt versorgten Baugruppe, ja sogar von einem im Hellen sehr niederohmigen Fotowiderstand). Als weiteren Einsatzfall kann man sich die verzögerte Alarmgabe beim Öffnen einer Tür o. ä. denken: Ein aus einem anderen Versuch stammender Tongenerator, dessen Stromversorgungsanschlüsse zwischen Kollektor und Emitter unserer Baugruppe liegen, erhält erst Strom, wenn der Transistor sperrt. Wer den Mechanismus kennt, schließt die Tür nach dem Öffnen noch während der Verzögerungszeit wieder oder betätigt einen versteckt angebrachten (nichtrastenden) Unterbrecherschalter, der aber auch als Taste parallel zu C angeschlossen sein kann. Das verzögerte Signal (nach dem Abschalten des Basiskreises steigt die Kollektorspannung nach der Verzögerungszeit von weniger als 0,5 V auf die volle Batteriespannung) steht am Ausgang zur Verfügung, auch wenn statt der Glühlampe ein Widerstand eingesetzt wird, für den ebenfalls Lötaugen vorgesehen wurden. Sein Wert kann höher als der Lampenwiderstand liegen. Mit z. B. 330 Ω ergibt sich ein für die Ansteuerung von Digitalschaltungen (TTL-Technik) geeigneter Zeitschalter, dessen Zustände L und H über einen Trigger den Schaltbedingungen von Logikschaltungen (kurze Übergangszeiten) angepaßt werden können.

4.2. Kurzzeitschalter

Wenn nach Schließen eines Schalters eine Lampe zunächst aufleuchtet, kurze Zeit später aber schon wieder verlischt, muß es sich nicht um einen »Wackelkontakt« handeln! Ein in den Basisstromkreis geschalteter Kondensator und einige Widerstände sorgen dafür, daß für beliebige Zwecke eine vom Menschen unabhängige Zeit lang ein Strom im Kollektorzweig fließt, gleichgültig, wie lange man die »Steuertaste« noch drückt. Ein kurzer Knopfdruck, und schon arbeitet die Schaltung selbsttätig. Solche Effekte nutzt man u. a. sowohl beim Treppenhaus-Minutenlicht wie bei der elektronischen Kameraauslösung. Wird auch hier die Lampe durch ein Relais ersetzt, so kann das z. B. jeden ungeduldig Einlaß Begehrenden »beruhigen«, denn so lange er auch den Klingelknopf drückt – es kommt nur ein kurzes Signal zustande (Bild 5). Um neu zu starten, muß man schon einmal den Finger vom Klingelknopf nehmen, so lange, bis sich der Kondensator über die beiden Widerstände genügend weit entladen hat. Es läuft nämlich dies ab: Knopf drücken – der durch den oberen 1,8-kΩ-Widerstand bestimmte Gesamtstrom wird um so stärker auf den 5,1-kΩ-Widerstand verzweigt, je höher der Kondensator aufgeladen ist. Am Verbindungspunkt kann maximal die Spannung $U_E = U_B \cdot \frac{5{,}1\ \text{k}\Omega}{(1{,}8 + 5{,}1)\ \text{k}\Omega}$ entstehen. Ist sie erreicht, fließt durch den Kondensator kein Strom mehr. Ohne den oberen Widerstand würde die Spannung zwar bis U_B ansteigen, aber sehr viel schneller, denn dieser Widerstand bestimmt zusammen mit dem Kondensator dessen Aufladezeit. Der untere Widerstand wiederum ist für das »Erholen« der Schaltung nach Loslassen der Taste zuständig. $\tau = 470 \cdot 10^{-6} \cdot (5{,}1 + 1{,}8) \cdot 10^{3}$ s lautet nämlich die Zeitkonstante der Kondensatorenladung. Achtung! Dieser Strom fließt in umgekehrter Richtung, so daß über der Bais-Emitter-Strecke anfangs die Spannung $U_E \cdot \frac{1{,}8\ \text{k}\Omega}{(1{,}8 + 5{,}1)\ \text{k}\Omega}$ steht. Daher darf die Schaltung – abgesehen von der durch die Lampe gegebenen Grenze – mit keiner so hohen Spannung betrieben werden, daß sich an der Basis mehr als (typenabhängig) 6 bis 7 V Sperrspannung ergeben, sonst bricht sie durch. Eine mit dem »Pfeil« nach oben parallel zur Basis-Emitter-Strecke gelegte Diode wirkt hier Wunder. Mit ihr statt des unteren 1,8-kΩ-Widerstands begrenzt man nicht nur die Sperrspannung auf etwa 0,6 V, sondern verkürzt sogar noch die Erholzeit der Schaltung (Bild 6).

Diese interessante Schaltung läßt sich auf der gleichen Leiterplatte wie für Abschnitt 4.1. (Nr. 01) aufbauen, nur bestückt man sie nach Bild 7. Aus den Erläuterungen und aus einem Vergleich mit Abschnitt 4.1. wird deutlich, daß der Wertespielraum der eingesetzten Widerstände relativ klein ist, sonst ergibt sich entweder eine zu kurze Leuchtzeit oder eine zu lange Erholzeit, oder die Lampe leuchtet nur schwach. Wer weiterdenkt, kann jedoch sinngemäß mit dem im nächsten Abschnitt gewählten Prinzip auch diese Schaltung aufbereiten!

4.3. Langzeitschalter

Die mit der Schaltung nach Abschnitt 4.1. erreichbaren Zeiten für das verzögerte Abschalten der Lampe (oder – allgemeiner – der »Last«) waren noch recht bescheiden. Das lag, wenn man für den Kondensatorwert vor allem aus Volumengründen einen vernünftigen oberen Grenzwert wählte, vor allem an der Stromverstärkung des Transistors. Der Widerstand zwischen Kondensator und Basis durfte also nicht zu groß werden, sonst blieb die Lampe dunkel. Die Schaltung nach Bild 8 enthält zwei Transistoren. Der (verstärkte) Strom des ersten ist der Basisstrom für den zweiten. Damit gilt für die gesamte Stromverstärkung $B = B_1 \cdot B_2$. Bei z. B. je 200 ergibt sich theoretisch 40000! Also könnte der Widerstand bei (vereinfacht) gleichen B-Werten B-mal so groß sein wie bei Abschnitt 4.1., und entsprechend diesem Faktor wäre die Leuchtzeit länger. Daß diese Betrachtung nicht ganz zutrifft, hat mehrere Gründe, zunächst diesen: Die Serienschaltung zweier Basis-Emitter-Strecken verringert die verfügbare Spannung U_R für $I_B = U_R/R_V$ auf $U_B - 2U_{BE}$. Außerdem liegt aber noch die Lampe im zweiten Emitterkreis und nicht wie in Abschnitt 4.1. im Kollektorkreis. Die Spannung über ihr ist ebenfalls von U_B abzuziehen. Allerdings stellt sich ein gewisses Gleichgewicht ein: Hoher Basisstrom bedeutet hohen Lampenstrom und damit höhere Spannung an der Lampe; also weniger Spannungsdifferenz über dem Vorwiderstand und damit eine Begrenzung des Basisstroms. In diesem Rahmen sei auf weitergehende mathematische Ableitungen verzichtet – sie werden infolge der Abhängigkeit des Lampenwiderstands vom Lampenstrom etwas unübersichtlich.

Übersichtlichere Verhältnisse ergeben sich bei Einfügen der Lampe wie nach Abschnitt 4.1. Jetzt ist tatsächlich nur die Spannung der beiden Basis-Emitter-Strecken von U_C abzuziehen, wenn man die über dem Vorwiderstand verfügbare Spannung errechnen will. Dieser Widerstand erhält – da die Wirkung des Lampenwiderstands im Basiskreis jetzt wieder entfällt – seine alte Bedeutung nach Abschnitt 4.1. als einziger strombegrenzender Widerstand im Basiskreis. Da sich die Stromverstärkungswerte beider Transistoren in dieser Schaltungsart wieder multiplizieren ($B_{ges} = B_1 \cdot B_2$), wird nur noch ein um B des vorgeschalteten Transistors geringerer Basisstrom (I_B/B_1) gebraucht, um I_{La} fließen zu lassen. Damit darf R fast um den Faktor B_1 größer sein als in Abschnitt 4.1. (»fast«, weil $U_C - 2\ U_{BE}$ statt $-\ 1\ U_{BE}$ gilt!). Diese zweite Variante des Langzeitschalters wurde in Bild 9 dargestellt. Für beide gilt das kombinierte »typofix«-Leiterbild Nr. 02. Es wird durch entsprechend unterschiedlich eingesetzte Drahtbrücken für beide Varianten »aufbereitet« (Bild 10 und Bild 11). Ebensogut kann man die Leiterplatte auch durch Aufreiben kurzer Leitungsstückchen aus einem »typofix-universal«-Blatt schon vor dem Ätzen der gewünschten Variante anpassen und spart damit Bohrungen und Brücken. Auch diese Schaltung läßt sich ein- und ausgangsseitig ähnlich ihren Vorgängern vielfältig in größere Schaltungskomplexe einfügen. Sie ist jedoch schon für sich allein recht interessant. Da sich einige Minuten Leuchtzeit ergeben, kann man sie z. B. als automatisch verlöschendes »Einschlaflicht« oder als Minutenbeleuchtung in Puppenhäusern einsetzen.

Die gestrichelt eingezeichneten Widerstände sind nur für Transistoren mit merklichem Reststrom nötig; man kann also auf diese Leiterplatte auch billige ältere Germaniumtransistoren setzen. Die Polarität von U_B und C ist dabei umzudrehen, da sie im allgemeinen die Zonenfolge pnp haben. Diese Widerstände (etwa 100 kΩ in der ersten Stufe und etwa 1 kΩ in der zweiten) setzen allerdings die Leuchtzeit herab.

4.4. Schwellwertschalter

Das ist die allgemeinere Bezeichnung für eine Gruppe von Schaltungen, bei denen sich am Ausgang (mehr oder weniger) sprunghaft der Zustand ändert (z. B. Lampe dunkel auf Lampe hell und umgekehrt), wenn die Eingangsgröße beliebig langsam einen schaltungsabhängigen Grenzwert über- oder unterschreitet. Am bekanntesten ist der sogenannte *Schmitt*-Trigger (triggern heißt auslösen). Ein schneller Übergang zwischen »Aus« und »Ein« bewahrt z. B. den Ausgangstransistor vor größerer Wärmebelastung, die auftritt, wenn er noch nicht ganz durchgeschaltet ist, so daß das Produkt $I \cdot U$ in ihm zu höherer Wärmeentwicklung führt. Eine eindrucksvolle Anwendung solcher Schwellwertschalter ist das automatische Schalten einer Beleuchtung, wenn die Außenhelligkeit einen bestimmten Wert erreicht hat. Daß im Übergangsbereich bei kleinen Änderungen in beiden Richtungen ständig umgeschaltet

wird, verhindert die meist schon durch die Schaltung gegebene »Hysterese«: Einschalten erfolgt erst, wenn der Steuerwert den Ausschaltwert wieder merklich über- oder unterschritten hat. Man erreicht ein solches Schaltverhalten nur unvollkommen, wenn nach Bild 12 lediglich durch große Gesamtverstärkung dieser Zwischenbereich nur klein ist. Dieser Versuch soll auch vielmehr zeigen, wie eine solche Transistorkombination – im Unterschied zum vorigen Abschnitt – wirkt: Wird der erste Transistor durch Basisstrom geöffnet, entzieht er dem zweiten den Basisstrom, und dieser schließt. Die Lampe leuchtet also, wenn der Eingang eine kleinere Spannung als die für T1 erforderliche Basisspannung erhält! Der zusätzliche Widerstand in Bild 13 verbessert das Verhalten der Schaltung entscheidend. Nun besteht keine Gefahr mehr, daß für einen ganz bestimmten Einstellpunkt der zweite Transistor gerade »halb« geöffnet ist und damit warm werden kann (bei zu kleinem Kollektorwiderstand könnte er dabei überlastet werden). Beide Emitterströme fließen über den gemeinsamen Stellwiderstand. Für einen bestimmten Wert der Eingangsspannung (von höheren Werten her) nimmt die Leitfähigkeit von T1 ab, so daß T2 Basisstrom erhält. Dieser ergibt – entsprechend verstärkt – über dem gemeinsamen Widerstand eine Gegenspannung für die Eingangsspannung, so daß sich der Basisstrom für T1 verringert. T1 leitet dadurch noch weniger, und T2 übernimmt fast schlagartig den gesamten Basisstrom, der vorher Kollektorstrom von T1 war. Das alles geschieht bei einem durch die Daten der Schaltung (Widerstandswerte, Transistordaten, Betriebsspannung) festgelegten Wert. Es gibt keinen »schleichenden« Übergang (vorausgesetzt, T1 erhält seine Steuerspannung nicht von einer Spannungsquelle mit zu hohem Innenwiderstand!). Da durch T2 ein größerer Kollektorstrom fließt als vorher durch T1 – man beachte die Widerstandsverhältnisse –, muß nun die Eingangsspannung wesentlich höher werden, bevor wieder für T1 genügend Basisspannung (Eingangsspannung minus Spannung über gemeinsamem Widerstand) zur Verfügung steht. Das ist die bereits erwähnte Hysterese. Das Verhalten der Schaltung wird durch die Ergänzung nach Bild 14 noch verbessert, denn jetzt muß die Kollektorspannung von T1 nicht so weit absinken (also der Steuerstrom für T1 nicht so groß werden) wie vorher. Durch die Spannungsteilung für die Basis von T2 hat T1 noch eine höhere Kollektorspannung, wenn die Basisspannung von T2 bereits infolge des Spannungsteilers unter den Schwellwert gesunken ist. Bild 14 enthält gleichzeitig eine praktische Anwendung des *Schmitt*-Triggers, die große Verbreitung u. a. als automatisches Parklicht für Kraftfahrzeuge gefunden hat: Der Widerstand von Plus zur Basis von T1 ist ein Fotowiderstand. Solange es hell genug ist, hält er T1 geöffnet und damit T2 geschlossen. Die Lampe bleibt dunkel, und die Stromaufnahme der Schaltung ist klein. Unterhalb einer Mindestaußenhelligkeit, die bei voll eingeschaltetem 10-kΩ-Widerstand (Empfindlichkeitssteller) am niedrigsten ist, leuchtet die Lampe auf. Wird es wieder etwas heller, so verlischt sie ebenso plötzlich. Eine interessante Nebenanwendung hat diese Schaltung als Warnblinker, der sich erst im Dunkeln selbsttätig einschaltet und damit z. B. Baustellen oder andere Gefahrenherde auffällig markieren kann. Während man nämlich beim Parklicht (selbstverständlich) keinesfalls das eingeschaltete Licht auf den Fotowiderstand fallen lassen darf, wird das beim Warnblinker bewußt getan. Lampe und Fotowiderstand sind dazu in einem bestimmten Abstand voneinander anzuordnen, den man erproben muß. Nun bekommt die Schaltung periodisches »Kippverhalten«, wobei Lampen- und Fotowiderstandsträgheit dafür sorgen, daß sich ein mehr oder weniger temperamentvolles Blinken ergibt, das außerdem von der noch vorhandenen Umgebungs-»Resthelligkeit« beeinflußt wird. Während auf der Leiterplatte also vorher der Fotowiderstand durch ein Stück Pappe von der Lampe abzuschirmen war, dreht man ihn für diese Anwendung sogar in Richtung zur Lampe.

Für alle drei vorgestellten Schaltungsvarianten (wovon die erste nur experimentelle Bedeutung hat) gilt das »typofix«-Leiterbild Nr. 03. Die Bestückungsvarianten werden gemäß Bild 15, Bild 16 und Bild 17 vorgenommen.

An dieser Stelle sei der Hinweis auf Abschnitt 8. und auf [4] gestattet, wo bereits ein integrierter Schwellwertschalter, also ein typisches Bauelement der Mikroelektronik, eingesetzt wird.

4.5. Lichtschranken

In Anlehnung an Abschnitt 4.4. lassen sich weitere Einsatzfälle ableiten. Für die Anwendung nach Bild 18 genügt bereits ein einfacher Schwellwertschalter ohne Kippverhalten, weil die Helligkeit der den Fotowiderstand beleuchtenden Lampe genügend hoch gewählt werden kann. Beim Unterbrechen des Lichtstrahls durch eine Person oder einen (z. B. zu zählenden) anderen Körper ist wiederum der Sprung

zu höheren Widerstandswerten hoch genug. Damit wird der ungünstige Bereich der Schaltung schnell durchfahren. In dieser Variante wurde statt der Verbindung Kollektor T1 nach Basis T2 die schon aus Abschnitt 4.3. bekannte Schaltung (Emitter T1 nach Basis T2) verwendet. Dadurch leuchtet die Lampe, solange der Fotowiderstand beleuchtet wird (und das 10-kΩ-Potentiometer einen genügend hohen Widerstand hat), und verlischt beim Unterbrechen des Lichtstrahls. Somit ist diese Schaltung auch ein »Lichtmelder«. Als Leiterplatte kann die des Langzeitschalters (Bild 8 bzw. Bild 9, Nr. 02) verwendet werden, wenn man sie nach Bild 19 bestückt. Statt der Lampe können mit einem Relais wieder beliebige Vorgänge ausgelöst werden, oder ein Zählwerk registriert die Menge der Objekte, die den Strahl in einer vorgegebenen Zeitspanne unterbrochen haben. Einfaches Vertauschen von Empfindlichkeits-Stellwiderstand und Fotowiderstand sowie Einfügen eines Schutzwiderstands (wenn der Stellwiderstand auf Kleinstwert gedreht wird, zerstört man den Transistor!) ergeben eine Lichtschranke mit umgekehrtem Verhalten (Bild 20). Jetzt leuchtet die Lampe immer (nur) dann, wenn der Lichtstrahl unterbrochen wird. Als Leiterplatte eignet sich ein Exemplar der bereits im vorigen Beispiel benutzten; auch einfaches Umrüsten ist möglich (Bild 21).

Als Lichtschrankenempfänger läßt sich selbstverständlich auch die Parklichtschaltung nach Abschnitt 4.4. einsetzen. Für die Lichtquelle benutzt man im Dauerbetrieb am besten eine von einem Klingeltransformator gespeiste 6-V-Lampe im Reflektorgehäuse einer Taschenlampe mit einstellbarer Lichtfleckgröße.

4.6. Feuchtemelder

An den Lichtstrahlempfänger nach Bild 18 kann statt des Fotowiderstands auch eine zweiadrige Leitung angeschlossen werden, die in zwei Elektroden endet. Dafür eignen sich Graphitstäbe aus Taschenlampenbatterien, denn an ihren Metallkappen kann gelötet werden. Überzieht man diese Metallfläche anschließend mit einem Schutzlack, so stehen gegen Korrosion unempfindliche Feuchtefühler zur Verfügung, zwischen denen Strom nur dann fließt, wenn sie in eine leitende Flüssigkeit tauchen. Das kann bereits Leitungswasser sein, aber auch feuchtes Erdreich. Der Verstärker reagiert auf diesen Steuerstrom damit, daß die Lampe aufleuchtet. So kann also z. B. der Füllstand der Badewanne beim Auffüllen kontrolliert werden: Wenn die Lampe leuchtet, ist die Wasserzufuhr zu unterbrechen! Eine solche Schaltung kann also auch ein Magnetventil steuern, das dann selbsttätig geschlossen wird. Wegen ihrer großen Ähnlichkeit mit einer der soeben besprochenen Lichtschrankenschaltungen kann wiederum die Leiterplatte Nr. 02 benutzt werden (Bestückung: Bild 22); auf die nochmalige Wiedergabe der Schaltung wurde verzichtet.

4.7. Lichtmelder mit Speicherverhalten

Wenn in einem dunklen Raum auch nur kurzzeitig Licht einfällt, kann das u. U. nachteilige Folgen haben. Wurde darin z. B. lichtempfindliches Material gelagert, so zeigt erst ein Test durch Entwickeln einer Probe dieses Mißgeschick an. Nutzt man den sonst beim *Schmitt*-Trigger nach Abschnitt 4.4. unerwünschten Effekt bei zu hohem Innenwiderstand der Steuerquelle aus, so vermag die Schaltung nach Bild 23 diese Panne sofort zu signalisieren: Einmaliger kurzer Lichteinfall schaltet die (natürlich außerhalb angebrachte) Signallampe an; sie bleibt hell, auch wenn es im Raum wieder dunkel wird. Erst kurzes Betätigen der »Löschtaste« stellt den alten Zustand wieder her. Der günstigste Wert des Stellwiderstands ist durch Versuch zu ermitteln. Man gehe vom Maximalwert aus. Eine Leiterplatte für dieses und das in Abschnitt 4.8. folgende Beispiel gewinnt man aus der »typofix«-Folie Nr. 04. Der Lichtmelder ist gemäß Bild 24 zu bestücken. Der Fotowiderstand (oder die Lampe) und der Taster müssen extern angeschlossen werden, je nach Lage des Überwachungsortes.

4.8. Schallmelder mit Speicherverhalten

Auf der gleichen Leiterplatte wie in Abschnitt 4.7. läßt sich dieser Schallmelder nach Bild 25 unterbringen, der nach dem ersten Auftreten eines genügend lauten Geräuschs dies durch bleibendes Leuchten

der Signallampe anzeigt. Wieder wird der spezielle Effekt des *Schmitt*-Triggers bei großem Widerstand der Speisequelle (das ist das Widerstandsnetzwerk zwischen der Basis und der Betriebsspannung) ausgenutzt.

Die Schaltung muß zunächst ohne Mikrofon eingestellt werden, und zwar so: Schleifer des 10-kΩ-Stellwiderstands nach Minus hin so weit verstellen, bis Lampe gerade leuchtet, dann etwas zurückstellen und Lampe mit Taster wieder löschen. Nun wird das Mikrofon angeschlossen. Wie im Baukastenversuch, so eignet sich auch für Daueranwendungen dafür eine hochohmige Kopfhörerkapsel gut, da sie bei Auftreffen einer ausreichenden Schallamplitude einen genügend hohen Signalpegel liefert. Diese Wechselspannung überlagert sich der dicht über Abschaltwert eingestellten Basisvorspannung von T1, so daß dieser kurzzeitig gesperrt wird. Den Rest übernimmt das Triggerverhalten der Schaltung: T2 wird leitend, dadurch sperrt T1 zuverlässig, und die Lampe leuchtet bis zum Betätigen der Löschtaste. Auf Grund der Notwendigkeit, den Schaltpunkt relativ genau einstellen zu müssen, da eine nur kleine Signalamplitude auftritt, ist das Ganze thermisch nicht besonders stabil. Man bedenke, daß die Basisschwellspannung eines Transistors mit steigender Temperatur um etwa 2 mV/K sinkt. Man kann jedoch den Eingriffspunkt mit einer Schallquelle höherer Spannung verbinden, z. B. mit dem Ausgang einer NF-Verstärkerstufe. Dann läßt sich ein größerer Sicherheitsbereich einstellen, und gleichzeitig wächst noch die Empfindlichkeit für schwächere Schallsignale.

Die Leiterplatte Nr. 04 ist nach Bild 26 zu bestücken. Das Mikrofon wird über eine Leitung angeschlossen.

4.9. Astabiler Multivibrator als Blinker

Die Schaltungen A 27 und B 16 des »Polytronic-ABC« haben dabei auf Grund ihrer relativ kritischen Einstellung wieder mehr experimentellen Charakter. Zuverlässig arbeitet dagegen ohne besondere Einstellmaßnahmen der astabile Multivibrator nach Bild 27. Voraussetzung ist allerdings, daß die Basiswiderstände bestimmte Höchstwerte nicht überschreiten. Sie sind durch die Stromverstärkungen und durch die Werte der Kollektorwiderstände gegeben. Man sollte $R_B = 0{,}8 \cdot B \cdot R_C$ nicht überschreiten, bei $R_C = 1$ kΩ und $B = 100$ also 80 kΩ. Andernfalls wird der Transistor in der Durchlaßphase nicht völlig geöffnet. Die Blinkfrequenz kann besonders wegen der großen Toleranzen von Elektrolytkondensatoren nur überschlägig berechnet werden. Für die Schwingungsdauer einer Schwingung gilt etwa $T = 0{,}7\,(C1\,R1 + C2\,R2)$. Die Schaltung beginnt sofort nach dem Einschalten zu blinken, denn der Einschaltstrom findet stets einen der beiden Transistoren als den schneller leitenden vor. Im »eingeschwungenen« Zustand läuft periodisch dies ab: Helle Lampe heißt, daß T2 gerade leitet, also niedrige Kollektorspannung. Bei Übergang in diesen Zustand liegt *C*1 mit seiner (gegen die Basis negativen) Spannung praktisch gegen Minus an der Basis von T1 und sperrt diesen. *R*1 lädt nun *C*1 so lange um, bis die Basis wieder etwa + 0,6 V erhält und T1 in den leitenden Zustand bringt. Damit wird jetzt *C*2 zur Sperrspannungsquelle für T2, nachdem er zunächst über den leitend werdenden T1 nur einen Teil des Basisstroms von T1 abgeleitet hat. Die Kollektorspannung von T2 steigt dabei, so daß über *C*1 an die Basis von T2 ein zusätzlicher Strom gelangt, der ihn weiter öffnet. Damit kippt die Schaltung in den Zustand »Lampe aus«. Er dauert so lange, bis sich nun *C*2 über *R*2 gegenüber der Basis von T2 auf etwa 0,6 V aufgeladen hat usw. Für diesen vielseitig einsetzbaren Blinker, dessen Blink- und Leuchtzeiten durch Wahl entsprechender C-Werte stark variiert werden können, wurde die Leiterplatte Nr. 05 entworfen, die nach Bild 28 zu bestücken ist.

4.10. Astabiler Multivibrator als lichtgesteuerter Tongenerator

Der weite mögliche Frequenzbereich des in Abschnitt 4.9. vorgestellten Multivibrators erlaubt es auch, Signale im Hörbereich zu erzeugen. Fügt man in die Schaltung noch einen Fotowiderstand ein, so ergibt sich ein lichtgesteuerter Signalgenerator (Bild 29). Er arbeitet bei dieser Beschaltung nur bei ausreichender Helligkeit, läßt sich also u. a. als akustischer Lichtmelder einsetzen. Der induktive Widerstand des Kopfhörers beeinflußt das Verhalten des Generators, da in einer Induktivität der Strom bei Anlegen einer Spannung nicht sofort seinen Endwert erreicht, der dann nur noch vom ohmschen Widerstand der

Spule abhängt. Das bedeutet eine vom Rechenwert verschiedene Schwingfrequenz und eine Kurvenform der Schwingung, die deutlich vom Rechteck eines reinen RC-Multivibrators abweicht. Der günstigste Arbeitspunkt des zweiten Transistors und damit der Gesamtschaltung, was das Schwingverhalten betrifft, wird mit dem Widerstand (etwa 100 kΩ) nach Gehör eingestellt. Der Fotowiderstand ist etwa der gewünschten Ansprechhelligkeit auszusetzen. Wird statt des Fotowiderstands eine Taste angeschlossen, so kann man mit dieser Schaltung auch Morsen üben. Günstiger (wegen der Stromaufnahme) ist dann aber Tasten der Betriebsspannung; die Anschlüsse des Fotowiderstands werden dabei ständig überbrückt.

Der Tongenerator kann auf der Leiterplatte Nr. 05 untergebracht werden, wenn diese nach Bild 30 bestückt wird.

4.11. Monostabiler Multivibrator

Der astabile Multivibrator nach Abschnitt 4.9. und Abschnitt 4.10. bleibt abwechselnd jeweils eine bestimmte Zeit in jedem der beiden möglichen Zustände, die durch die Lampe angezeigt werden. Die Zeit für jede Phase wird von den beiden *RC*-Kombinationen an den Basisanschlüssen der Transistoren bestimmt. Die Schaltung nach Bild 31 enthält nur eine *RC*-Kombination, die andere Basis ist »galvanisch« mit dem Kollektor des anderen Transistors verbunden. Daraus ergibt sich, daß die Schaltung nur für einen der Zustände, die sie einnehmen kann, unstabil ist. Im anderen Zustand dagegen verharrt sie stabil. Dieses Verhalten nennt man monostabil. Es zeigt sich also: Im (stabilen) Ruhezustand ist der Kondensator *C* etwa auf $U_B - U_{BE\,1}$ aufgeladen. T1 erhält über seinen Basisvorwiderstand Strom und leitet. Dadurch ist T2 gesperrt, so daß also an seinem Kollektor die volle Batteriespannung U_B steht. Schon ein kurzer Druck auf die Taste bewirkt, daß T1 sperrt. Damit öffnet T2, sein Kollektorpotential sinkt auf einen kleinen Wert (Sättigungsspannung), die Lampe leuchtet, und die Spannung des Kondensators liegt nun, vermindert um die Sättigungsspannung von T2, als Sperrspannung an der Basis von T1. Das ist der unstabile Zustand der Schaltung, denn nun lädt sich *C* zunächst über den Basisvorwiderstand von T1 so weit auf, bis T1 wieder leitend wird. Er entzieht damit T2 Basisstrom, und dessen Kollektorspannung steigt. Damit wird aber nun über *C* ein in die Basis von T1 fließender Ausgleichsstrom hervorgerufen, der T1 schnell ganz öffnet. Der Ruhezustand der Schaltung ist wieder erreicht, bei dem die Lampe dunkel ist. Ihre Hellzeit hängt von *C* und vom Basisvorwiderstand von T1 ab. Dieser Widerstand hat einen oberen Grenzwert, denn der von ihm bestimmte Basisstrom muß so groß sein, daß T1 in der stabilen Lage genügend leitet, um T2 zu sperren. Die Ähnlichkeit der Schaltung mit der des astabilen Multivibrators erlaubt es, sie auf der gleichen Leiterplatte (Nr. 05) zu realisieren. Daraus ergibt sich der Bestückungsplan nach Bild 32.

Gegenüber dem Baukastenversuch wird T1 über einen Kondensator gesperrt. Damit ist die Hellzeit unabhängig von der Betätigungszeit der Taste. Anderenfalls würde bei zu lange gedrückter Taste *C* bereits erheblich entladen werden, so daß T1 schneller wieder geöffnet ist.

4.12. Bistabiler Multivibrator

Es wurde bereits mehrfach festgestellt, daß die durch einen ausreichend hohen Basisstrom leitfähig gewordene Kollektor-Emitter-Strecke eines Transistors in der Lage ist, die Basis-Emitter-Spannung eines zweiten Transistors auf einen so kleinen Wert zu bringen, daß dieser Transistor sperrt. Wenn man diese Verknüpfung »über Kreuz« anbringt, so sperrt also stets einer der beiden Transistoren, während der andere geöffnet ist. Welcher welchen Zustand einnimmt, wenn die Betriebsspannung angelegt wird, bestimmt der Zufall. Einer ist immer etwas schneller als der andere. Man kann das bei Bedarf mit kleinem Zusatzaufwand definiert beeinflussen, z. B. durch einen Kondensator, der die eine Basisspannung langsamer steigen läßt als die andere. Da eine solche Schaltung nach Bild 33 zwei mögliche stabile Zustände hat, heißt sie bistabiler Multivibrator. Man kann nun jeden der beiden Basisanschlüsse herausführen und wahlweise kurz mit Minus verbinden. Verändern wird sich aber nur etwas, wenn man die Basis des gerade geöffneten Transistors trifft. Das ist z. B. T1, wenn die Lampe dunkel ist, denn dann entzieht T1 dem Transistor T2 den Basisstrom. Sperrt man T1 auf diese Weise kurzzeitig, so übernimmt die Basis

von T2 den Strom über den Kollektorwiderstand von T1 und den Vorwiderstand und bringt T2 in den leitenden Zustand. Damit leuchtet die Lampe. Da T2 nun für den Strom geöffnet ist, steht an seinem Kollektor nur noch wenig Spannung. Das bedeutet weiterhin Sperren von T2, auch nach Aufheben der Masseverbindung seiner Basis. Sie reagiert auch auf kein erneutes Berühren mehr. Anders jetzt die Basis von T2: Vorher ohne Reaktion, läßt eine auch nur kurzzeitige Verbindung zwischen ihr und Masse die Lampe wieder verlöschen. Das bleibt dann auch beliebig lange so, da jetzt für T2 die gleichen Sperrverhältnisse gegeben sind wie davor für T1. Dieser erhält nun von der auf einen Wert nahe der Batteriespannung (Lampen-R viel kleiner als übriger Widerstand!) angestiegenen Kollektorspannung Öffnungsstrom. Die Widerstandswerte weichen von denen des Baukastenexperiments ab, denn bei jenem war die recht hohe Sättigungsspannung von T2 bei Lampenstrom zu berücksichtigen, die vor allem im ersten Moment durch den hohen Lampenkaltstromstoß noch wesentlich größer ist als im »stationären« Betrieb. Durch die günstigere Transistortypenwahl erübrigt sich auf der Leiterplatte eine Einstellung durch Potentiometer, so daß das Leiterbild Nr. 05 für den astabilen und für den monostabilen Multivibrator auch hier verwendet werden kann. Bestückt wird jetzt nach Bild 34.

Große praktische Bedeutung hat der bistabile Multivibrator in der Digitaltechnik als kleinste Speicherzelle erlangt (Flip-Flop, neuerdings auch Trigger genannt); er ist auch Bestandteil von Frequenzteilern u. ä. Die inzwischen längst durch integrierte Schaltungen (vgl. Bauplan Nr. 37 – »Digitalmosaik«) abgelöste Transistorschaltung läßt sich für solche Zwecke meist vorteilhafter durch Impulse steuern. Dann genügt für die Steuerung beider Zustände ein einziger Eingang. Ein kurzer negativ (also gegen Minus) laufender Impuls sperrt die jeweils »aktive« Basis. Der nächste Impuls steuert dann den anderen Transistor usw. Die Schaltung muß dazu allerdings nach Bild 35 ergänzt werden.

Heute realisiert man die Grundschaltungen der Digitaltechnik mit integrierten Schaltkreisen, vergleiche u. a. die Baupläne 37 und 40. Zu beiden gibt es ebenfalls »typofix«-Folien.

4.13. NF-Verstärker

Bisher wurde vorwiegend das Verhalten von Transistoren im Schalterbetrieb behandelt. Sie waren entweder ein- oder ausgeschaltet; der Übergangsbereich war dagegen im allgemeinen unerwünscht. Im folgenden interessiert der Betrieb des Transistors bei einem »Arbeitspunkt« zwischen Sperren und völligem Leiten. Das hat einige Wirkungen: Vor allem können jetzt kleine Spannungsänderungen, über Kondensator in die Basis eingekoppelt, den Kollektorstrom beeinflussen; vorher dagegen mußte man immer erst die Basisschwellspannung überwinden. Das besorgt jetzt ein Widerstand genügender Größe, der in die Basis einen gerade günstigen Strom einspeist, damit z. B. am Kollektor eine Spannung in der Größenordnung von $U_B/2$ entsteht. Die Schaltung nach Bild 36 erfüllt diese Bedingung bei

$R_B = \frac{2\,R_C}{U_B} \cdot B \cdot (\frac{U_B}{2} - U_{BE})$. Abweichungen von $U_B/2$ sind besonders bei Kleinsignalverstärkern ohne Bedeutung. Ein am Eingangskondensator eingespeister Wechselstrom (für diesen ist C ja durchlässig) erscheint, um B verstärkt, im Kollektorkreis und ergibt dort die Wechselspannung $B \cdot I_{B\sim} \cdot R_C$. Solange sie wesentlich kleiner als $U_B/2$ bleibt, ist die Verstärkung verzerrungsarm. Der Wechselstrom wird von der zu verstärkenden Wechselspannung, dem Innenwiderstand der Wechselspannungsquelle und dem Eingangswiderstand der Basis-Emitter-Strecke bestimmt: $I_{B\sim} = U{\sim}/(R_i + R_E)$. In der vorgestellten Schaltung trägt aber der Basiswiderstand, da er vom Kollektor her den Basisarbeitspunktstrom zuführt, zur Verringerung des Eingangswiderstands bei. Dadurch wird die erreichbare Verstärkung zwar kleiner, aber diese »Gegenkopplung« sorgt auch dafür, daß der Arbeitspunkt weniger von Exemplardaten und Temperatur abhängt als bei Zuführung von Plus direkt. Denn: Falls z. B. U_C steigen will, steigt auch I_B, so daß I_C wächst und über R_C wieder U_C verringert. Daß die gesamte Spannungsverstärkung kleiner ist, als zunächst erwartet, liegt auch an der Belastung des Ausgangs: Dem R_C ist nämlich über den Auskoppelkondensator noch »wechselspannungsmäßig« der Lastwiderstand parallelgeschaltet, im Beispiel der Kopfhörer mit seinen 2 kΩ.

Für den Anfang mögen diese Informationen genügen; entsprechende weiterführende Literatur wird der Anfänger, mit den Erfahrungen dieser Versuche als Ausgangspunkt, ohnehin bald lesen wollen. Woher stammen die zu verstärkenden Eingangsspannungen? Von allen Wechselspannungsquellen, die man sich denken kann; je nachdem, was zu verstärken ist: Mikrofon, Plattenspieler-Tonabnehmer (unter

Beachtung des hohen Quellwiderstands), Empfänger-Eingangsteile usw. Der erste Versuch beschränkt sich darauf, auch an den Eingang eine Hörkapsel anzuschließen, die dann als Mikrofon wirkt.

Für diesen bereits vielfältig einsetzbaren einfachen Verstärker und für die folgenden Beispiele entstand das »typofix«-Leiterbild Nr. 06. Die Leiterplatte wird für diesen Verstärker nach Bild 37 bestückt.

Eine zweite Stufe erhöht die Verstärkung beträchtlich – unter Berücksichtigung der Lastwiderstände um den Faktor der Verstärkung der zweiten Stufe. Für eine Stufenverstärkung von 33 z. B. würde sich bei zwei Stufen eine Gesamtspannungsverstärkung von $33 \cdot 33 \approx 1000$ ergeben! Nun legt man allerdings diese Stufen je nach Signalamplitude und Lastwiderstand unterschiedlich aus. Für das Beispiel nach Bild 38 wurde im Baukastenversuch z. B. zunächst noch ein Spannungsteiler für die Basis des zweiten Transistors benutzt. Da er direkt an Plus liegt, folgt der Arbeitspunkt jeder Temperaturänderung, und auch die Einstellung der Widerstände ist kritisch. Für die Leiterplatte wurde daher in der ersten Stufe gegengekoppelt, was allerdings einen kleineren Verstärkungsfaktor ergibt. Der zusätzliche Widerstand von Basis nach Masse entlädt den Koppelkondensator, der bei größeren Aussteuerungen durch die Basis-Emitter-Diode geladen wird. Als praktisches Beispiel für den Einsatz dieser bereits relativ hoch verstärkenden Baugruppe, deren Bestückung für die Leiterplatte Nr. 06 gemäß Bild 39 vorgenommen wird, nennt die Baukastenanleitung einen Telefonmithörverstärker. Als Fangspule reicht bereits ein mit einigen hundert Windungen Kupferlackdraht bewickelter Ferritstab; noch wirksamer ist ein altes Rund- oder Flachrelais, von dem der Anker entfernt wurde. Die Spule ist an einer zu erprobenden Stelle des Telefons anzuordnen. Am besten wählt man für die Versuche eine automatische Ansage an, z. B. den Wetterbericht. Zwei Hinweise zu dieser Schaltung sind wichtig: In Sendernähe können Rundfunksender stören. Die hohe Grenzfrequenz der Transistoren kann außerdem zur HF-Selbsterregung führen. Beide Effekte beseitigt je ein kleines Scheiben-C von etwa 220 pF zwischen Basis und Kollektor jedes Transistors, leiterseitig angelötet.

Der Eingangswiderstand der beiden Verstärker liegt im Kiloohmbereich. An hochohmige Quellen kann man sie nur anschließen, wenn es nicht stört, daß deren Klemmenspannung dabei erheblich zusammenbricht. Nach Bild 40 dagegen erhält man einen Eingangswiderstand, der etwa dem Produkt aus Stromverstärkung und (gesamtem) Widerstand im Emitterzweig entspricht. Dieser Widerstand ist hier die Parallelschaltung des ohmschen Widerstands mit dem Eingangswiderstand der nächsten Stufe. Angenommen, das sei etwa 1 kΩ, dann ergibt sich $R_E = B \cdot 10^3$, also mit $B = 100$ z. B. 100 kΩ. Das ist für hochohmige Quellen meist schon eine akzeptable geringe Belastung (Beispiel: Anschluß an Kristalltonabnehmer oder hochohmigen Ausgang anderer Plattenspieler). Daß die Spannungsverstärkung der Stufe jetzt weniger als 1 beträgt, stört meist nicht, da die Ausgangsspannung solcher Quellen im allgemeinen bereits bei einigen hundert Millivolt liegt. Die Bestückung der Leiterplatte von Nr. 06 für Bild 40 geht aus Bild 41 hervor. Hochohmige Quellen über Schirmkabel anschließen!

4.14. Einfache Rundfunkempfänger

Wie schon in der Einleitung erläutert, konnten Stromlauf- und Bestückungspläne zur für Empfängerexperimente entstandenen Leiterplatte Nr. 07 nicht in den vorliegenden Bauplan aufgenommen werden. Sie befinden sich im ersten Viertel der Broschüre »Empfänger für Anfänger« [5].

4.15. LC-Tongenerator

Das Resonanzprinzip – bekannt aus dem Physikunterricht – ist für Empfang und Trennung von Rundfunksendern von entsprechender Bedeutung, vgl. [5]. Mit einem solchen Schwingkreis aus L und C lassen sich, wenn beide groß genug sind, auch hörbare Schwingungen erzeugen. Bild 42 nutzt die Induktivität der Kopfhörerkapsel aus. Die Kreiskapazität wurde unterteilt. 2 × 0,1 µF in Serie ergibt 50 nF als wirksames C. Der Verbindungspunkt beider Kondensatoren ist für unsere Schaltung sehr wichtig. Dadurch wird der Basis-Emitter-Strecke bei entsprechend günstig eingestelltem Arbeitspunkt (das Potentiometer muß zunächst eine Basisspannung oberhalb des Schwellwerts liefern) Energie aus dem Schwingkreis im richtigen Sinne zurückgeführt. Eine kleine Änderung des Stroms im Kollektorkreis, z. B. beim Einstellen des Potentiometers über den Basisstrom erzeugt, führt wieder zu einer Basisstromänderung in richtigem Sinne, wird verstärkt usw. Der Generator schwingt dadurch auf einer von

L und *C* bestimmten hörbaren Frequenz. Diese Erklärung ist stark vereinfacht, zeigt jedoch u. a., daß es auf die richtige Einstellung des Potentiometers ankommt, damit man etwas hört. Offensichtlich ist also auch die Höhe der Betriebsspannung für den Einsatzpunkt von Bedeutung. Das wird in der Variante »lichtgesteuerter Tongenerator« (in Bild 42 bereits mit eingetragen) ausgenutzt. Bei einer bestimmten Helligkeit setzen die Schwingungen ein. Durch Einfügen des Fotowiderstands wurde hier eine andere Möglichkeit eines akustischen Lichtmelders realisiert.

Für beide Schaltungen gilt die Leiterplatte Nr. 08, die nach Bild 43 bestückt wird (ebenfalls wieder wahlweise mit oder ohne Fotowiderstand, je nach Einsatzzweck als Melder oder als Tongenerator für Prüfzwecke, für Morseübungen usw.).

4.16. Zweiklanghupe

Bei dieser Schaltung (Bild 44) wird ausgenutzt, daß auch der Kollektorwiderstand bei vom Normalwert abweichender Größe auf die Frequenz eines astabilen Multivibrators Einfluß hat. Bei Schließen und Öffnen des Schalters hört man unterschiedliche Töne. Gegenüber der Baukastenschaltung wurde eine Endstufe für Lautsprecherbetrieb angefügt; die Lautstärke ist vom Wert des Emitterwiderstands abhängig. Bei Inbetriebnahme Potentiometer auf Maximum stellen, ggf. mit Taste starten. Wird diese Schaltung mit einem astabilen Multivibrator genügend kleiner Frequenz gekoppelt (z. B. über ein Relais in dessen Ausgang), so kann der Ton automatisch den Klang eines Signalhorns annehmen. Bild 45 zeigt für die Leiterplatte Nr. 09 den Bestückungsplan dieses Bausteins.

5. Stromversorgung

Die für die Versuche ausreichende 4,5-V-Flachbatterie ist bei längerem Betrieb bald erschöpft. Für Dauereinsatz empfiehlt sich ein kleines Netzteil. Nach Bild 46 kann ein 6-V-Klingeltransformator die relativ geringen Ströme (100 mA werden kaum überschritten, auch bei zwei Einheiten an einem Netzteil) leicht bereitstellen. Die zunächst etwas ungewöhnlich wirkende Schaltung wird verständlich, wenn man bedenkt, daß ein nahe Leerlauf betriebener 6-V-Klingeltransformator wesentlich mehr als 6 V liefert. Am Kondensator entsteht ohne Last der Scheitelwert von $U_{eff} \cdot \sqrt{2}$. Die Gleichrichter reduzieren ihn mit ihrer Durchlaßspannung nur wenig, da sie bei kleinem Strom noch wesentlich weniger als 0,6 V benötigen. Das ist der Grund, daß an den 4,5-V-Ausgang ein Vorlastwiderstand von 680 Ω bis 1 kΩ angeschlossen werden sollte. Der Vorwiderstand der Z-Diode wirkt mit dem Transformatorinnenwiderstand zusammen und ergibt in der Z-Diode auch bei Leerlauf nicht mehr als die zulässige Leistung. Die beiden Dioden (eine, wenn eine 5,1-V-Z-Diode vorhanden ist, zwei bei *SZ 600/5,6* bzw. *6,2*) reduzieren die Ausgangsspannung um jeweils etwa 0,6 V, so daß man im gegebenen Lastbereich wieder ungefähr 4,5 V erhält. Unmittelbar mit der Z-Diodenspannung und ohne weitere Dioden kann die Baukastenbestückung betrieben werden, da dort 6 V gefordert werden (zur Erinnerung: große Sättigungsspannung der dort verwendeten Miniplasttransistoren). Die Leiterplatte Nr. 10 war auf dem »typofix«-Blatt fehlerhaft, im Bauplan aber schon richtig. Das neugestaltete »typofix«-Blatt enthält jetzt das richtige Muster. Mit der Bestückung nach Bild 47 ist diese Platte eine wirtschaftliche Quelle nicht nur für das Experimentiersystem.

6. Prüfhinweise

Fehlermöglichkeiten beim Bestücken sind: unsaubere Lötstellen (dagegen helfen Übung, sauberes Lötbesteck, einwandfreies Flußmittel – säurefreie »Löttinktur« ist im Handel – und ausreichende Kolbentemperatur), verpolte Elektrolytkondensatoren (die dann u. U. sogar heiß werden), falsch eingesetzte Transistoren und Dioden, vertauschte Widerstände usw. All dies ist nur durch sorgfältige Kontrolle zu erkennen. Lötbrücken sind eine weitere sichtbare Fehlerquelle. Bei erster Inbetriebnahme schaltet man am besten eine der verwendeten Glühlampen in Serie zur Speisespannung; die in vielen Schaltungen enthaltene Lampe wird solange entfernt. Je nach der Grundstromaufnahme der jeweiligen Schaltung darf die Lampe höchstens schwach glimmen, anderenfalls liegt einer der soeben genannten Fehler vor.

7. Gehäuse

Um die fertigen Einheiten vor äußeren Einflüssen zu schützen und sie ggf. mit anderen Teilen zu kleinen Geräten zusammenfügen zu können, benutzt man in Heimwerkerläden erhältliches Plastmaterial. Gut geeignet ist z. B. 2 mm dickes PVC. Bild 48 faßt einige grundsätzliche Konstruktionshinweise dafür zusammen. Geklebt wird mit anlösendem PVC-Kleber wie *PCD 13*. Für das Trennen größerer PVC-Tafeln hat sich ein Eisensägeblatt gut bewährt; kleinere Teile bearbeitet man mit Laubsäge und Feile.

Die Leiterplatten könnten zwischen eingeklebten schmalen Streifen des gleichen Materials eingeschoben werden. Einfacher geht es aber mit kurzen Drähten, die man mit Lötkolben und Pinzette thermisch eindrückt (maximal 1,5 mm tief, damit sie nicht auf der Gehäuseaußenseite durchkommen; ggf. Streifen einkleben, so daß tiefer eingedrückt werden kann), vgl. Bild 49. Wo Brumm- oder Sendereinstreuungen stören (bei NF-Verstärkern oder Rundfunkempfängern), mindestens an der Unterseite des Gehäuses eine kupferkaschierte Hartpapierplatte anbringen und ihre Folie mit dem Minuspol der Leiterplatte verbinden. Aus kupferkaschiertem Material lassen sich auch ganze Gehäuse zusammensetzen.

8. Vielseitiger Transistortester für bipolare Transistoren

Bipolar (im Unterschied zu den unipolaren Feldeffekttransistoren) sind alle Transistoren, die in diesem Bauplan verwendet werden. Sie haben drei Zonen unterschiedlicher Leitfähigkeit: npn bei den hier benutzten Siliziumtransistoren, pnp bei den noch immer und oft sehr preiswert erhältlichen älteren Germaniumtransistoren aus DDR-Produktion. Es gibt aber ebenso npn-Germanium- und pnp-Siliziumtypen. Der Prüfaufwand hängt von den Notwendigkeiten ab. Höchste Stufe des Prüfens ist Messen unter definierten Bedingungen. Je nach Typ gibt der Hersteller für die garantierten Werte bestimmte Voraussetzungen an. Wichtigste ist der Arbeitspunkt. Vergleichbare Stromverstärkungswerte (β, als »Großsignal«-Verstärkung auch B genannt) erhält man nur, wenn bei gleichem Kollektorstrom (I_C) gemessen wird, denn je nach Typ kann die Stromverstärkung (also das Verhältnis von Ausgangs- zu Eingangsstrom des Transistors) bei unterschiedlichen Strömen stark schwanken (vgl. z. B. [1] [2]). Sie hat meist irgendwo in der Mitte des zulässigen Kollektorstrombereichs ihr Maximum. Modernste Typen (z. B. *SC 237* bis *SC 239*) bieten bereits bei Kollektorströmen im Mikroamperebereich recht gute Werte; Kleinleistungstypen wie *SF 126* bis *SF 128* dagegen erreichen oft erst oberhalb 10 mA »typische« Werte. Auf die Feinheiten zwischen Klein- und Großsignalverstärkung und die Unterschiede zwischen Gleich- und Wechselstromverstärkung kann hier nicht näher eingegangen werden, siehe dazu z. B. [3]. Auch sei nur festgestellt, daß »β« zwar als I_E/I_B definiert, meist aber ohne spürbaren Fehler als I_C/I_B gemessen wird ($I_C = I_E - I_B$).

8.1. Das »klassische« Transivar-Prinzip

Übliche »klassische« Tester wie das »Transivar 1« gestatteten die Messung der Gleichstromverstärkung β bei 1 mA Kollektorstrom. Das Prinzip geht aus Bild 50 hervor [2]. Das erfordert ein empfindliches Meßwerk, denn schon für β = 333, einen heute durchaus üblichen Wert, fließt ein I_B von nur 3 µA, den man auf dem (»von rechts nach links« mit steigenden β-Werten geeichten) Meßwerk noch ablesen können muß! Nun war es früher für den Amateur von weit größerer Bedeutung, genaue β-Werte zu ermitteln, z. B. für das Paaren bei Endstufen (wobei auch noch der Wert der sich für den Arbeitspunkt einstellenden Basis-Emitter-Spannung über der Eingangsdiode interessierte!). In der entgegengesetzten Richtung bewegten sich »digitale« Testprinzipien, bei denen nur die Stromverstärkungsgruppe überprüft wurde, wie sie der Hersteller ebenfalls nur aufdruckt. Zwischen der heute nicht mehr gebräuchlichen Gruppe A und der Gruppe F staffeln sich von Gruppe zu Gruppe die β-Werte (überlappend) jeweils etwa im Verhältnis 1 : 2 bis 2,5. So kann mit 6 Buchstaben ein Bereich von etwa 20 bis rund 1000 erfaßt werden. Im Grunde interessiert ja meist auch weniger der genaue Wert als die Größenordnung, mit der man bei einem derart großen möglichen Bereich beim vorliegenden Exemplar zu rechnen hat. Dabei sollte jedoch aus genannten Gründen mindestens von einem vergleichbaren Arbeitspunkt ausgegangen

werden. Für eine solche Aufgabe kann man zunächst das schon dargestellte »Transivar«-Prinzip benutzen: Einstellen von I_C = konst (z. B. 1 mA) mit Kontrolle durch das Meßinstrument, Umschalten des Instruments in den Basiskreis und Anzeige des für I_C eingestellten nötigen Basisstroms, wobei der Meßwerk-Vollausschlagstrom die minimale Stromverstärkung anzeigt – bei 50 µA also 20. Beim Zeigerausschlag 25 µA liegt dann β = 40, 5 µA entsprechen β = 200 usw.

Meßwerke für 50 µA Vollausschlag sind aber teuer und empfindlich. Man wird also möglichst einen – wenn vorhandenen – Vielfachmesser mit 20 kΩ/V (das bedeutet 50 µA im empfindlichsten Strombereich, vgl. z. B. [2]) bei Bedarf für diese Aufgabe heranziehen, also nur einen Zusatz bauen. Wir leben jedoch im Zeitalter der Mikroelektronik und verfügen über preiswerte integrierte Schaltkreise, die auch für solche Testaufgaben geeignet sind.

8.2. Schwellwertanzeige – Prinzip

Noch 1980/81 war sehr billig der Kameraschaltkreis *A 902 D* erhältlich. Er wurde inzwischen durch einen verbesserten und dennoch ebenfalls erschwinglichen, den *A 302 D* ersetzt. Beide sind Schwellwertschalter mit geringem Eigenstrombedarf, und beide sind für das »Herzstück« eines Transistortesters geeignet, dessen Prinzip aus Bild 51 zu erkennen ist.

Im Bauplan Nr. 46 [4] sind u. a. Schaltungsbeispiele mit dem *A 902 D* enthalten. Ihre Brauchbarkeit und damit die der auf »typofix« gespeicherten Leiterbilder für den *A 302 D* wurden inzwischen getestet. Es empfiehlt sich auf Grund seiner höheren Verstärkung lediglich, in der dort enthaltenen Thermostatschaltung den auch in der vorliegenden Anwendung eingesetzten Kondensator vom Betriebsspannungsanschluß nach Masse nachzurüsten. Auch geringe Wertverschiebungen im Eingangsteiler sind möglich.

8.3. Gesamtstromlaufplan für npn- und pnp-Transistoren

Das in Bild 51 dargestellte Prinzip erlaubt die Einstellung gewünschter Arbeitspunktströme durch optische Anzeige. Sofern die Umgebungstemperatur im Zimmertemperaturbereich bleibt, kann man sich auf Grund der in der Gesamtschaltung (Bild 52) enthaltenen Stabilisierungsmaßnahmen auf den Ansprechschwellwert recht gut verlassen. Die Hysterese wurde wie in Bauplan 46 durch den Widerstand R_v in der Versorgungsleitung des Schaltkreises anwendungsgerecht eingeengt. Sein Wert darf beim *A 302 D* bis 2,2 kΩ betragen, während beim älteren *A 902 D* mehr als 1 kΩ nicht sinnvoll ist. Es empfiehlt sich, die Umschaltschwellen des Exemplars möglichst genau zu ermitteln, denn danach richtet sich der Wert des vom Eingang nach Masse zu schaltenden Meßwiderstands. Dieser Widerstand hat in der Grundausführung für 1 mA Arbeitspunkt den Nennwert (in kΩ) $R_M = 0{,}5\ (U_{U_o} + U_{U_u})$. o und u sollen obere und untere Umschaltschwelle bedeuten – je enger sie, abhängig von R_V, liegen, um so günstiger ist später die Handhabung des Geräts. Im Muster ergab sich ein mittlerer Umschaltspannungswert von 1,2 V, so daß R_M zu 1,2 kΩ gewählt wurde. Für den Nachbau günstiger ist der umgekehrte Weg: Da der Spannungsbereich der Umschaltschwelle in der vorliegenden Schaltung recht klein ist, baut man für R_M ein zunächst auf Mitte gestelltes 2,2-kΩ-Stellpotentiometer ein und speist über ein 10-kΩ-Potentiometer von + 5 V her in diesen Punkt einen Strom von 1 mA ein. Durch leichtes Verändern von R_M wird die Schaltschwelle erreicht. Durch wechselseitige Korrektur am 10-kΩ-Potentiometer und an R_M wird der dadurch etwas veränderte Strom wieder auf 1 mA gebracht. Das Umschalten zeigen die beiden Leuchtdioden an: Rot heißt untere, Grün obere Schwelle. Die Leuchtdioden dürfen nicht vertauscht werden, denn ihre unterschiedlichen (farbabhängigen) Durchlaßspannungen setzen voraus, daß dieses Anzeigeprinzip am *A 302 (902) D* sauber funktioniert. Wie schon erwähnt, erreicht vor allem die häufig eingesetzte Typenreihe *SF 126* bis *SF 128* erst bei höheren Strömen ihre Nennstromverstärkungswerte. Dazu, gleichzeitig aber zur Erweiterung des Meßbereichs nach oben ohne größere »Klimmzüge« auf der Basisseite, wurde als recht brauchbarer Kompromiß ein zweiter Meßwiderstand (470-Ω-Potentiometer), umschaltbar zum ersten, eingesetzt. Das bedeutet zunächst einen auf 5 mA in beschriebener Weise einstellbaren Arbeitspunkt. Bei gleichem möglichem Bereich der Einstellung des Basisstroms lassen sich in dieser Stellung aber Stromverstärkungswerte vom 5fachen des 1-mA-Bereichs ermitteln.

Betrachtet man Bild 51 nun basisseitig, so liegt dort der einstellbare »Anzeigewiderstand« R_B. Reproduzierbare Widerstandseinstellungen ergeben sich an einem solchen Potentiometer mindestens in einem Bereich von etwa 1 : 15. (Aus Volumengründen wurde die Größe 2 benutzt; größere Typen arbeiten für unser Prinzip noch »solider«!) Ein einstellbarer Begrenzungswiderstand läßt Bereichskorrekturen bezüglich der realen Z-Diodenspannung im Speisekreis und des Maximalwerts von R_B zu; er sollte aber nicht bis Null gestellt werden (ggf. etwa 4,7 kΩ Festwiderstand vorschalten).

Der Prüfling – zunächst sollen nur gemäß Bild 51 npn-Typen als die gebräuchlichsten betrachtet werden – liegt kollektorseitig an einer auf rund 5 V stabilisierten Spannung, die auch über R_V den Schaltkreis versorgt. Zum Schutz seines Eingangs vor Spannungen, die den Wert an Anschluß 2 um mehr als etwa 0,5 V übersteigen, liegt zwischen den Eingängen (1) und (2) eine beliebige Siliziumplanardiode. Im Normalbetrieb ist sie gesperrt. (Derartige Schutzschaltungen enthalten heute bereits viele Schaltkreise intern, z. B. solche in CMOS-Technik.) Der Emitter des npn-Prüflings liegt am Eingang des Schaltkreises und damit über R_M an Masse. Erst bei etwa 1,2 V, dem Umschaltpunkt, werden die Spannungsverhältnisse im Basiskreis interessant. Mit einer 6,8-V-Z-Diode als Quelle für den Basisstrom über den bis maximal 1 MΩ einstellbaren R_B, der Anzeigespannung von etwa 1,2 V und einer mittleren Basis-Emitter-Spannung U_{BE} von 0,5 V ergibt sich bei U_Z = 6,8 V eine Spannung über R_B von 6,8 − (1,2 + 0,5) V, also von 5,1 V. Dieser Wert unterliegt den von U_Z, U_{BE} und U_U bedingten Toleranzen. Für Testzwecke im Amateurbereich sind diese Toleranzen tragbar, zumal sie durch den einstellbaren Vorwiderstand zumindest etwas eingeengt werden können.

Außerdem ist es möglich (und durchaus sinnvoll), beim späteren Kalibrieren der *R*-Skale nicht rein rechnerisch, sondern meßtechnisch zu verfahren: R_B hat ja ebenfalls erhebliche Toleranzen (s. Vorwiderstand!), und eine einmalige Messung einiger repräsentativer Basisstromwerte mit einem Spektrum vorhandener Transistoren vermag alle diese Unsicherheiten weitgehend zu beseitigen. Sofern vorher 1 mA, bezogen auf R_M, genügend genau eingestellt worden ist, wirkt nun die Schaltung bereits als Indikator dafür. Ein Mikroamperemeter, zum Kalibrieren in den Basiskreis gelegt, gibt Auskunft über den Basisstromwert, bei dem das jeweilige Tranistorexemplar 1 mA Kollektor- (hier genauer Emitter-) Strom erreicht. Allerdings sollte in diesem Falle später, nach Entfernen dieses Meßinstruments, in den Basiskreis ein Festwiderstand von der Größe seines Innenwiderstands eingefügt werden, sonst ist das Kalibrieren nicht exakt! Beim Arbeitspunkt 1 mA liefert der gemessene Basisstrom I_B in Mikroampere über die einfache Rechnung $\beta = 1000/I_B$ den Wert der Stromverstärkung. Bei 5 V und 1 MΩ sind nominell mindestens 5 µA zu erwarten, also wird β_{max} = 200. Bei einem Stellverhältnis von rund 1 : 15 (auch abhängig vom Vorwiderstand!) liegt damit β_{min} bei etwa 13,3. Wird auf 5 mA umgeschaltet, gilt einfach β × 5 als Meßwert. Miniplasttransistoren ergeben bei beiden Arbeitspunkten recht gut übereinstimmende Werte, ein *SF 126* z. B. dagegen wird bei 5 mA ein höheres β anzeigen. Hier ist also der Transistortyp die Ursache, während das Gerät richtig gearbeitet hat!

Auf Grund der Formel $\beta = \frac{1000}{I_B}$ (bzw. $\frac{5000}{I_B}$) ergibt sich über den von $I_B = \frac{\Delta U}{R_B}$ bestimmten Basisstromwert die lineare Abhängigkeit $\beta = f\,(R_B + R_{Bv})$, also linear vom Drehwinkel bei linearer Potentiometerkennlinie. Sofern man sich mit den dabei nichterfaßten Unsicherheiten zufriedengibt, genügt also ein solches rein »mechanisches« Kalibrieren, das man bezüglich Genauigkeit durch die beschriebene »Transistorkalibrierung mit Vorwiderstandsnachstellen« jederzeit verbessern kann. Da auch die Abweichungen der Potentiometerkennlinie selbst meist tragbar blieben, läßt sich die Skale innerhalb der Frontplattenbeschriftung direkt verwenden. Sie bezieht sich auf einen mittleren R_v von 50 kΩ. Sie liegt innerhalb des Frontplattenbilds als »typofix«-Folie zum Bauplan vor. Daher kann man die Frontplatte sogar aus kupferkaschiertem Hartpapier herstellen und nach Aufreiben der »typofix«-Folie ätzen!

In Richtung größerer Genauigkeit vermag der Vorwiderstand zu hohe U_Z- und (oder) zu kleine R_B-Werte auszugleichen, allerdings bei bezüglich Anfangsbereich veränderter Skalenteilung. Ist der Grundwert von R_B aber von vornherein zu groß, müßte der Wert von U_z erhöht werden, entweder durch eine 7,5-V-Z-Diode oder durch Serienschalten einer Siliziumdiode in Durchlaßrichtung (npn-Seite des Testers).

Wie mißt man nun pnp-Typen? Ihr Angebot auch in Siliziumtechnik wächst, neben *KT 326* und *KT 3107* aus der UdSSR und den ČSSR-Typen *KF 517, KFY 16* und *KFY 18* stehen als erste DDR-pnp-Siliziumtransistoren auch *SC 307* bis *SC 309* zur Verfügung. Bis auf Ausnahmefälle besteht also künftig kaum noch die Notwendigkeit, Germanium-Kleinleistungstransistoren mit ihrem meist unangenehmen Reststrom einzusetzen, auch beim Amateur nicht – es sei denn, man erhält sie noch extrem billig, oder die kleine Basis-Emitter-Spannung wird benötigt. Der Tester ist auf Grund seines Anzeigeprinzips hier etwas überfordert. Beim »Transivar«-Prinzip (vgl. [2]) läßt sich der Reststrom

aus der Messung »ausklammern«, in unserem Gerät täuscht er höheres β vor. Ein kleiner Meßzusatz, der sich mit den ohnehin benötigten Schaltern bei Bedarf »anwählen« läßt, bietet aber zumindest eine Testmöglichkeit für die Größenordnung dieses störenden Stroms, der sich im übrigen beim Erwärmen (Anfassen!) des Prüflings schnell erhöht.

Das Messen von pnp-Transistoren ohne störenden Reststrom (intakte Siliziumkleinleistungstransistoren haben weit weniger als 1 μA!) wird bis auf einen kleinen Unterschied genauso wie bei npn-Typen vorgenommen. Jetzt liegt nämlich der Kollektor am Schaltkreiseingang, während der Emitter an + 5 V liegt. Für die Basisstromeinspeisung stehen daher exakt nur 5 V − U_{BE} zur Verfügung, wenn von Masse her eingespeist wird. Will man weiterhin von Nennwerten im Meßkreis ausgehen können, ist also eine negative Spannung mit etwa dem Wert von U_{BE} erforderlich. Sie läßt sich mit einer Gleichrichterstrecke mit negativer Ausgangsspannung gewinnen, der eine Stabilisierungsschaltung aus Vorwiderstand und einer in Durchlaßrichtung geschalteten Siliziumdiode folgt. Im Vorgriff auf Abschnitt 8.5. sei auf folgendes verwiesen: Für diese negative Spannung reicht im Falle des Testers eine Einweggleichrichtung. Die auf der Leiterplatte enthaltene Verdopplerschaltung erhöht jedoch den Gebrauchswert der linken Plattenhälfte. Sie kann dadurch nämlich auch allein als 3fach-Spannungsquelle kleinerer Leistung benutzt werden, z. B. zum Betrieb von Operationsverstärkern mit symmetrischer Betriebsspannung und gleichzeitig für eine TTL-Schaltung. Die Vorwiderstände vor den Z-Dioden (statt der »Durchlaßdiode« ist dann im negativen Zweig ebenfalls eine 6,8-V-Z-Diode einzusetzen) werden bei Bedarf verringert.

8.4. Transistoren mit Reststrom

Ein Siliziumkleinleistungstransistor ist bereits als »verdächtig« anzusehen, wenn er bei Zimmertemperatur und 5 V Kollektorspannung mehr als 1 μA Reststrom führt. Mit einem gemäß Gesamtschaltung eingesetzten 1-MΩ-Potentiometer (es muß bei der β-Messung immer »ganz oben« stehen, also auf Linksanschlag!) kann bei offenem Meßwiderstand 1 μA gerade noch angezeigt werden. Durch Zuschalten der von den Meßwiderstandsschaltern eingeschleiften beiden in Stellung I_{CEO} wirksamen Widerstände kann auf etwa 10 bis 40 bzw. 100 bis 400 μA Anzeigebereich erweitert werden. Die Eigenart dieser vom Kompromiß an Umschaltern und weiteren Bauelementen diktierten Maßnahme bedingt eine Anzeigelücke zwischen 40 und 100 μA bei vorliegender Dimensionierung und eine Grenze, die 400 μA und Unendlich zusammenrücken läßt. Heute sollte man jedoch ohnehin nur noch Germaniumtransistoren benutzen, die wesentlich unter 400 μA bleiben, und eine Unterscheidung, ob weniger als 40 oder mehr als 100 μA (außerdem noch temperaturabhängig) fließen, dürfte ausreichend sein.

Auf die Verfälschung der Anzeige bei der β-Messung im Falle höherer Restströme wurde schon hingewiesen. Im 1-mA-Arbeitspunkt beansprucht ja 0,5 mA Reststrom schon die Hälfte der Skale, bei 5 mA aber nur noch 10 %. Allerdings kann dann auch nur oberhalb von $\beta \approx 60$ vernünftig gemessen werden.

8.5. Aufbau

Für die in Bild 52 dargestellte Schaltung wurde die Leiterplatte nach Bild 53 entworfen. Sie befindet sich zusammen mit dem Frontplattenschriftbild einschließlich Potentiometerskalen auf dem zum vorliegenden Bauplan gehörenden »typofix-electronic-special«-Blatt »ABC-Transistortester«.

Für ein Gehäuse aus Polystyrol- oder PVC-Platten von etwa 2 mm Dicke gibt Bild 54 Bauinformationen. Das für den Reststrom benutzte Potentiometer (man kann es, wenn keine Germaniumtypen gemessen werden, auch weglassen – A und S dann überbrücken!) ist ein Stellpotentiometer der Größe 1, das senkrecht zur Leiterplatte zu betätigen ist. Das dazu nötige Bedienteil läßt sich aus einem M3-Gewindebolzen gemäß Bild 55 selbst herstellen. Das Potentiometer wird wie Transistorfassung und Leuchtdioden leiterseitig montiert. Die zweite Transistorfassung ist in der vorliegenden Ausführung im Grunde unnötig und kann weggelassen werden, da die Zonenfolge einfach durch Umdrehen des jeweiligen Transistors berücksichtigt werden kann.

Bild 56 zeigt eine Ansicht des ersten Mustergeräts. Bei Abweichungen gelten Bestückungsplan und »typofix«-Folie der endgültigen Ausführung.

8.6. Bedienung

Da der Tester nicht ständig benutzt wird, aber sofort betriebsbereit sein soll, wird er am günstigsten von einem Klingeltransformator über eine Zuleitung gespeist. Dabei leuchtet zunächst die rote Leuchtdiode auf. Nun steckt man den Prüfling in die 5polige Transistorfassung, deren beide äußere Kontaktpaare jeweils parallelgeschaltet sind. So lassen sich Miniplasttypen ebenso leicht einstecken wie größere Transistoren. Für pnp-Typen ist im Mustergerät der Emitter rechts, für npn-Typen links einzuführen. Den übrigen Ablauf erlernt man schnell: Reststrompotentiometer (falls vorgesehen) auf Linksanschlag. Das wird, da Germaniumtypen nur noch selten zu messen sein werden, ohnehin meist der Fall sein. Am Schalter rechts außen Zonenfolge wählen: npn oder pnp. Am Schalter rechts innen auf I_{CEO} schalten, falls Gut-Schlecht-Test gewünscht oder Germaniumtyp gemessen wird. Linkes Schalterpaar zunächst nach unten schalten. Bleibt die Anzeige auf Rot, ist der Reststrom geringer als 1 μA, geht sie auf Grün, zunächst auf 0,01 bis 0,1 schalten und Reststrompotentiometer (links oben) nach rechts drehen. Bleibt Grün oder erscheint Rot erst dicht vor Rechtsanschlag, auf 0,1 bis 1 schalten und langsam zurückdrehen. Kommt Grün bereits nach geringer Linksdrehung, sollte man auf diesen Transistor verzichten. Nun stellt man das Reststrompotentiometer wieder auf Linksanschlag. Ab hier beginnt der bei Siliziumtransistoren im allgemeinen nur nötige Teil des Tests. Links 1 oder 5 mA Arbeitspunkt wählen, rechts auf β schalten, und β-Drehknopf betätigen: nach rechts, solange Grün, nach links, falls Rot angezeigt wird. Rot schon bei Linksanschlag heißt zu niedriges β (das ist in Stellung 5 mA häufiger der Fall), Grün noch bei Rechtsanschlag zeigt zu hohes β an (tritt meist bei Stellung 1 mA auf). Durch Umschalten des Arbeitspunkts kann, wie beschrieben, zwischen β von etwa 13 bis 200 (1 mA) und etwa $5 \times 13 = 65$ bis $5 \times 200 = 1000$ gewählt werden. Beim Muster konnte auf Grund entsprechenden Abgleichs noch zwischen 11 und 215 gemessen werden, worauf sich auch die Skale bezieht.

Linksanschlag bei Rot ist also sozusagen »kein Transistor«. Rechtsanschlag sowie 5 mA bei Grün bedeutet dagegen – sofern der Reststromtest mit Rot auch noch bei 1 μA bestanden worden war – ein β von über 1000. Das ist aber derzeit noch nicht so häufig.

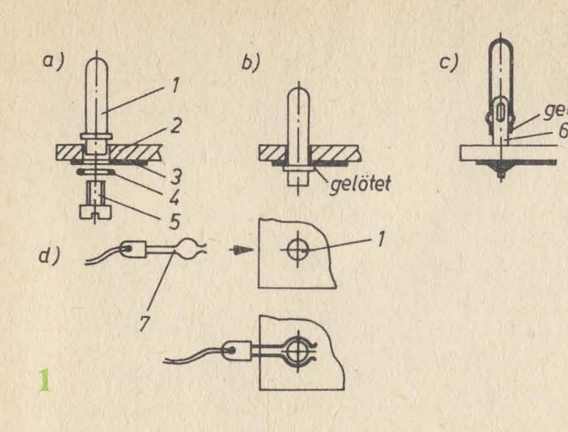
9. Bezugsquellen

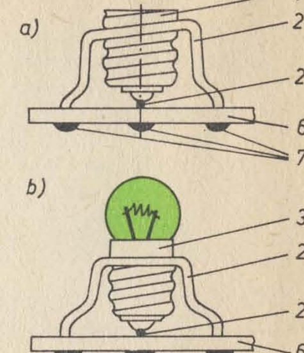
Der RFT-Amateurbedarfshandel mit seinen zahlreichen Verkaufsstellen führt im allgemeinen alle verwendeten elektrischen Bauelemente. Man achte auch auf verbilligte Basteltypen, denn mit dem im vorigen Abschnitt beschriebenen Transistortester ist ihr Auslesen ein Kinderspiel!

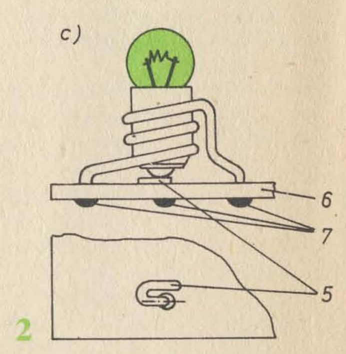
Glühlampen und Elektromaterial sowie Lötkolben, Plastmaterial usw. erhält man in den Heimwerkerabteilungen z. B. der Centrum-Warenhäuser. Die zur Unterstützung bei der Herstellung der Leiterplatten für diesen Bauplan entwickelten ätzfesten »typofix-electronic-special«-Folien werden mindestens von den RFT-Amateurfilialen in Berlin, Erfurt und Leipzig sowie Schwerin und per Post (Nachnahme) vom Konsum-Elektronik-Versand 7264 Wermsdorf, Postfach, gehandelt. Zum vorliegenden Bauplan gehören das schon zu Bauplan 41 gelieferte Blatt »Elektronik-ABC 1« mit den Leiterbildern 01 bis 09 und das neuentwickelte Blatt »ABC-Transistortester«, auf dem sich neben dem Leiterbild der Testerelektronik einschließlich Stromversorgung aus einem 6-V-Klingeltransformator (*KT 07* oder *08*) und des »Gerätegesichts« mit den beiden Skalen noch das inzwischen korrigierte Leiterbild zu Platte 10 befindet. (Im Bauplan 41 war es schon berichtigt worden, auf der Folie damals jedoch noch nicht. Blatt 2 zu Bauplan 41, auf der sich u. a. Nr. 10 befand, wurde nicht neu aufgelegt, da es nur die gleichen Bilder wie 1 enthielt, nur in anderen Mengen.)

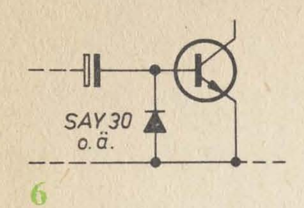
10. Literatur

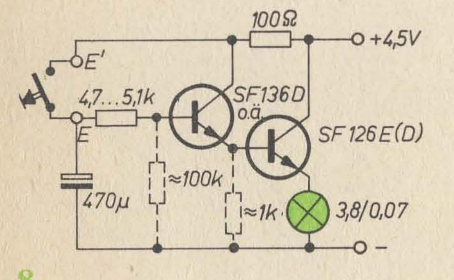
[1] *Schlenzig, K., Oettel, R.*: Silizium-Schaltungsmosaik. Originalbauplan Nr. 18, Militärverlag der DDR, Berlin 1971
[2] *Schlenzig, K., Oettel, R.*: Das Große Bauplan-Bastel-Buch. Militärverlag der DDR, 2. Auflage, Berlin 1978
[3] *Fischer, H.-J., Schlegel, W. E.*: Transistor- und Schaltkreistechnik. Militärverlag der DDR, 2. Auflage, Berlin 1981
[4] *Schlenzig, K.*: Schaltkreis-Mosaik I. Originalbauplan Nr. 46, Militärverlag der DDR, Berlin 1981
[5] *Schlenzig, K.*: Empfänger für Anfänger. Reihe: Der junge Funker Band 28, Militärverlag der DDR, Berlin 1981

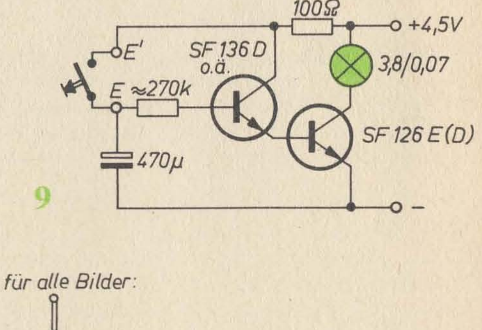


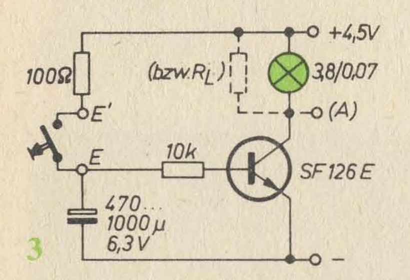


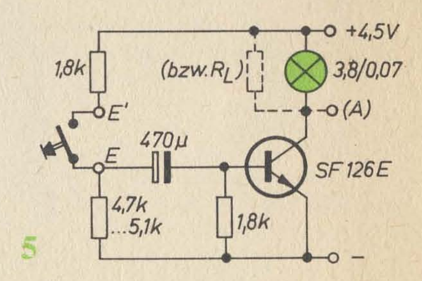


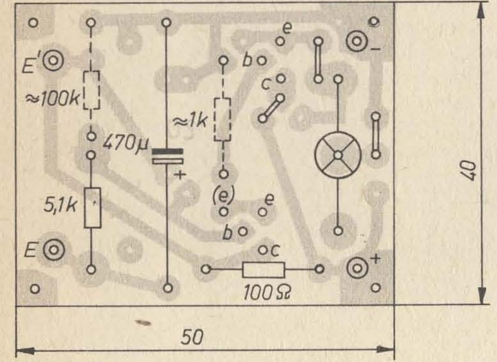


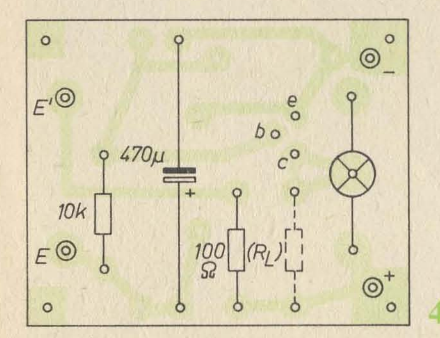


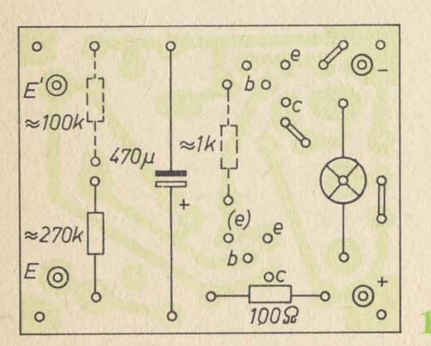












für alle Bilder:

Drahtbrücke

Kontakt-Rohrniet oder Stecklötöse

Bild 1
Rohrniet von *Polytronic* als Kontakt für Leiterplattenbausteine: a – Schraube M 3 × 4 zur Befestigung (1 ≙ Rohrniet, 2 ≙ Leiterplatte, 3 ≙ Kupferfolie, 4 ≙ Kupferdraht 0,8 als Ring, 5 ≙ Schraube); b – Direktmontage (Einlöten); c – auf Stecklötöse (6) gelötet; d – Federklammer (7) aus dem Baukasten

Bild 2
Befestigungsmöglichkeiten für Kleinglühlampen auf Leiterplatten: a – Fassung (1) ohne Schraublötösen über Drähte eingelötet (2); b – Lampe über Drähte direkt eingelötet; c – Fassung aus Kupferdraht (∅ 0,8): 3 ≙ eingeschraubte Lampe, 4 ≙ Drahtwendel, 5 ≙ Drahtöse, 6 ≙ Leiterplatte, 7 ≙ Lötstellen

Bild 3
Stromlaufplan Verzögerungsschalter (R_L statt Lampe, z. B. 220 Ω)

Bild 4
Bestückungsplan zur Leiterplatte 01 für Bild 3

Bild 5
Kurzzeitschalter (R_L wie Bild 3)

Bild 6
Begrenzungsdiode bei höheren Betriebsspannungen (Schaltungsausschnitt von Bild 5)

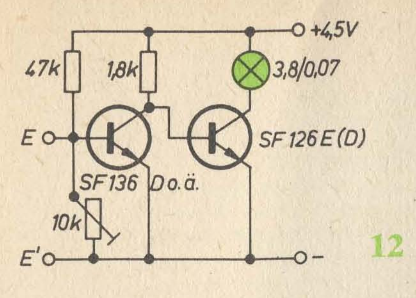
Bild 7
Bestückung zur Leiterplatte 01 für Bild 5

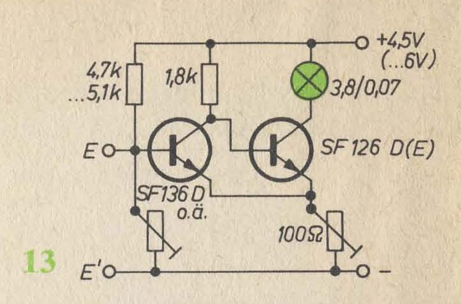
Bild 8
Langzeitschalter, Variante 1

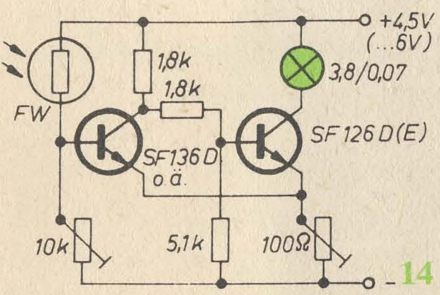
Bild 9
Langzeitschalter, Variante 2

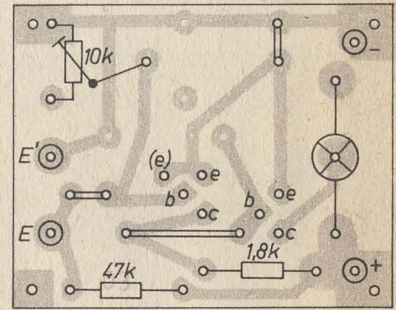
Bild 10
Bestückung zu Platte 02 für Bild 8

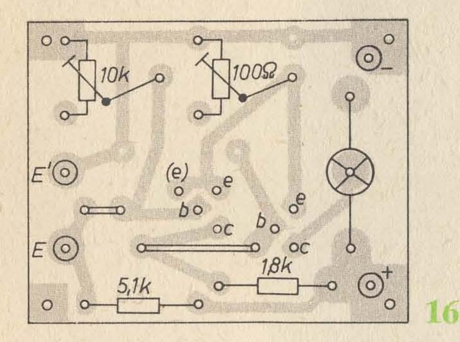
Bild 11
Bestückung zu Platte 02 für Bild 9

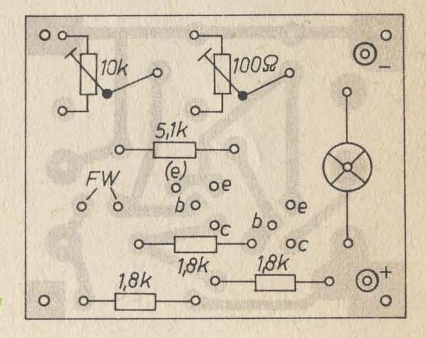












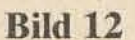


Bild 12
»Unvollkommener« Schwellwertschalter. Eingang E für Steuerung von außen über Schutzwiderstand von etwa 1 kΩ (dann entfällt 47 kΩ)

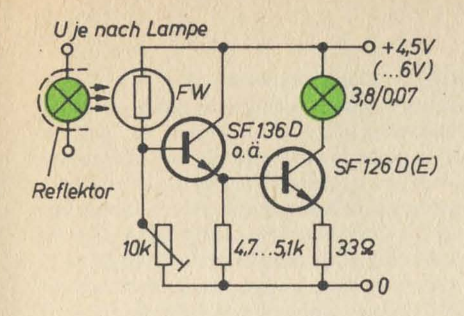
Bild 13
Entscheidende Verbesserung durch gemeinsamen Emitterwiderstand. E wiederum für mögliche Außensteuerung über etwa 1 kΩ, wobei 47 kΩ wieder entfällt. Diode mit Spitze nach unten parallel zu 100 Ω verringert Hysterese, also den Abstand der Spannungswerte zwischen Ein- und Ausschalten

Bild 14
Weiter verbesserter Schwellwertschalter als Dämmerungsschalter (Parklicht, Flurlicht u. ä.). Auch hier Diode parallel oder statt 100 Ω günstig

Bild 15
Bestückung zu Platte 03 für Bild 12

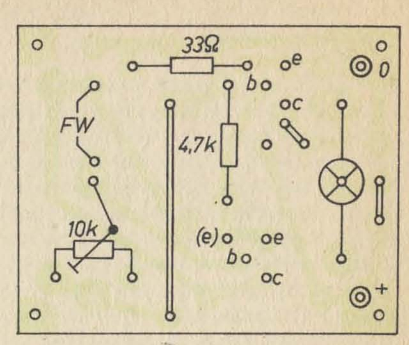
Bild 16
Bestückung zu Platte 03 für Bild 13

Bild 17
Bestückung zu Platte 03 für Bild 14

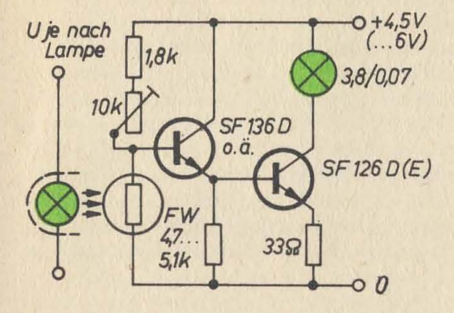




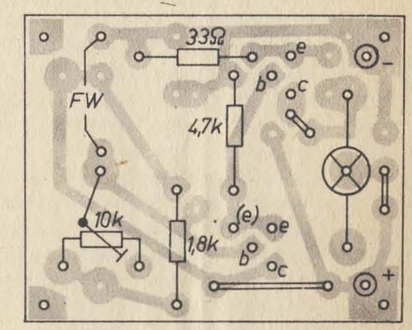
18



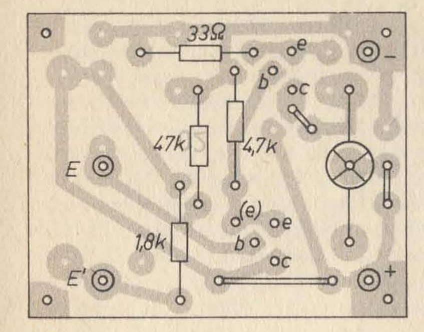
19



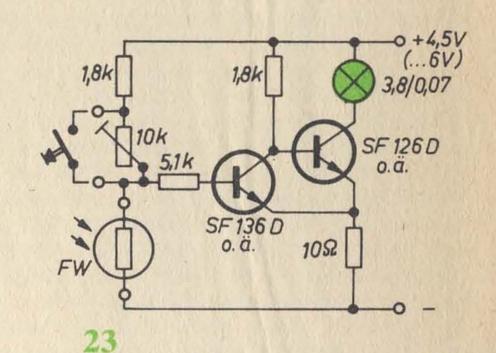
20



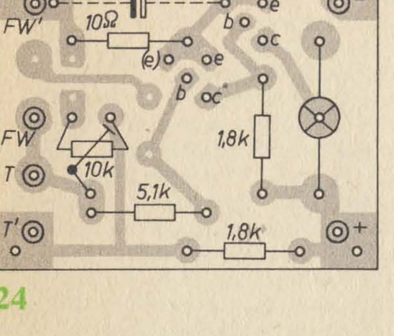
21



22

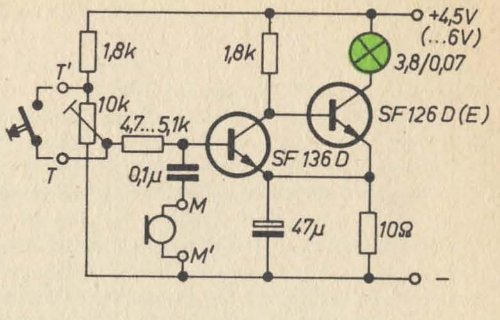


23

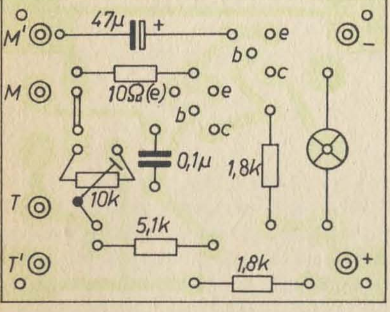




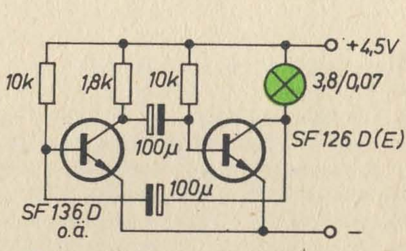
24



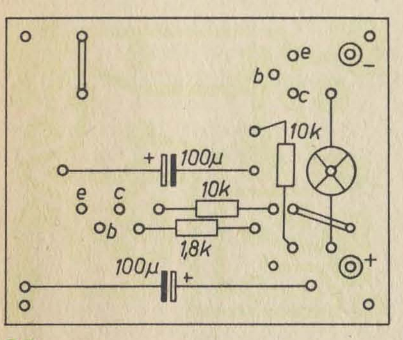
25



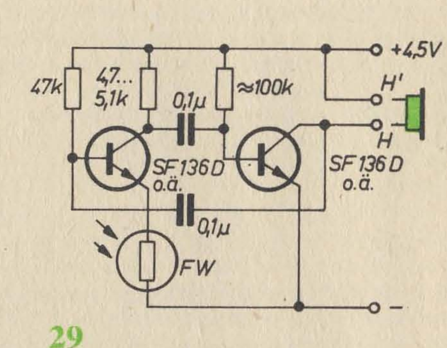
26



27



28



29

Bild 18
Einfache Lichtschranke (»hell bei hell«)

Bild 19
Bestückung zu Platte 02 für Bild 18

Bild 20
Lichtschranke »hell bei dunkel«

Bild 21
Bestückung zu Platte 02 für Bild 20

Bild 22
Bestückung zu Platte 02 für Feuchtemelder

Bild 23
Lichtmelder mit Speicherverhalten

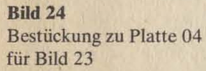


Bild 24
Bestückung zu Platte 04 für Bild 23

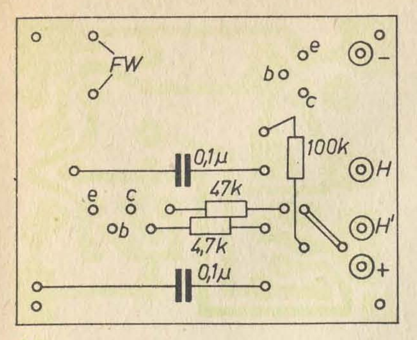
Bild 25
Schallmelder mit Speicherverhalten

Bild 26
Bestückung zu Platte 04 für Bild 25

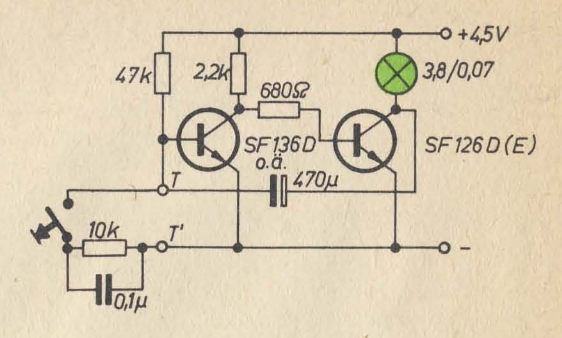
Bild 27
Astabiler Multivibrator als Blinker (*C*1: unterer, *C*2: oberer Kondensator; *R*1: linker, *R*2: rechter 10 kΩ; T1: links, T2: rechts)

Bild 28
Bestückung zu Platte 05 für Bild 27

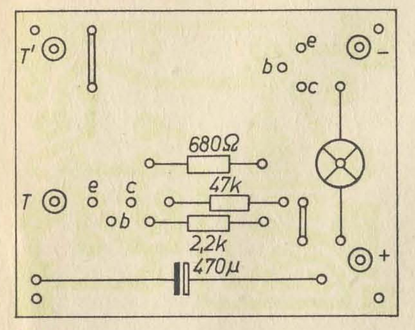
Bild 29
Lichtgesteuerter Tongenerator



30



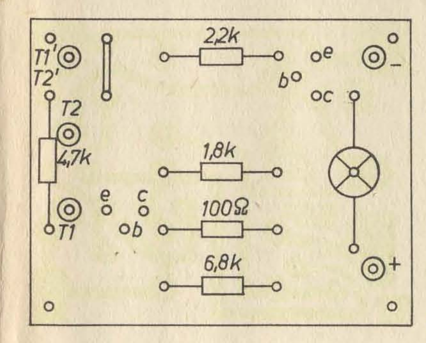
31



32

+4,5V
100Ω
3,8/0,07
6,8k
SF 136 D
o.ä.
1,8k
SF 126 D (E)
T1
T2
T1'
T2'
4,7k
22k
Ta1
Ta2

33



34

T1
T2
47k
0,1µ
T1'

35

+4,5V
1,8k
180...270k
47µ
H
4,7µ
E
NF
E'
SF 136 D
o.ä.
(SC 206 D)
H'

36

Bild 30
Bestückung zu Platte 05
für Bild 29

Bild 31
Monostabiler Multivibrator
(*C* hier 470 µF; T1: links,
T2: rechts)

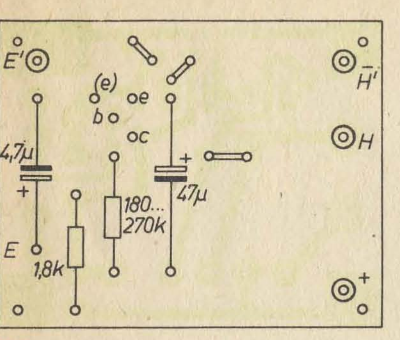
Bild 32
Bestückung zu Platte 05
für Bild 31

Bild 33
Bistabiler Multivibrator (Bezeichnung T1 und T2 gelten sowohl für die Tastenanschlüsse wie für die Transistoren)

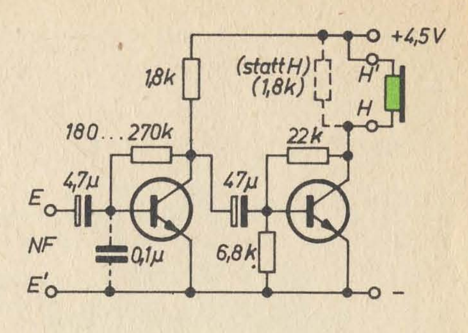
Bild 34
Bestückung zu Platte 05
für Bild 33

Bild 35
Ansteuerung des bistabilen Multivibrators über einen einzigen Schalter. Die Diodenschwellspannung muß kleiner als die Basis-Emitter-Spannung sein; über 6,8 kΩ und 1,8 kΩ in Bild 33 je 0,1 µF legen; Vorwiderstand 47 Ω vor Lampe nötig, da 6 V Betriebsspannung

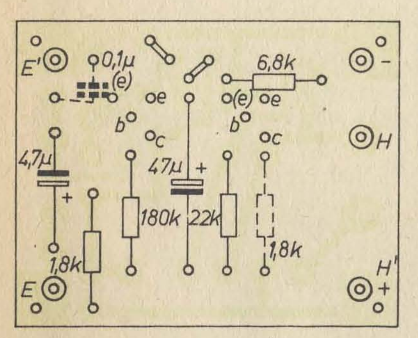
Bild 36
1stufiger NF-Verstärker
(R_B = 180 bis 270 kΩ,
R_C = 1,8 kΩ, U_B = 4,5 V)



37



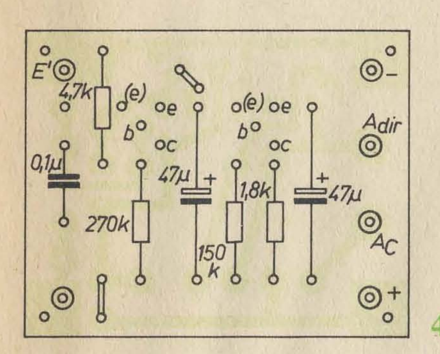
38



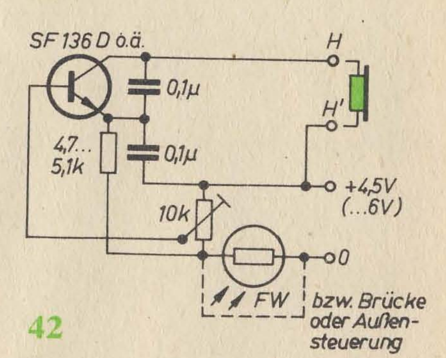
39

+4,5V
1,8k
180...
270k
100...
150k
Adir
47µ
Ac
0,1µ
47µ
E
NF
E'
SF 136 D,
SC 206 D
o.ä.
SF 136 D,
SC 206 C
o.ä.
4,7...
5,1k

40



41



42

Bild 37
Bestückung zu Platte 06
für Bild 36

Bild 38
2stufiger NF-Verstärker, 2 Emitterstufen (Texthinweis bezüglich HF beachten!)

Bild 39
Bestückung zu Platte 06
für Bild 38 (Achtung – unterer 0,1-µF-Anschluß muß nach links zum 4,7 µF!)

Bild 40
2stufiger NF-Verstärker, erste Stufe in Kollektorschaltung (hoher Eingangswiderstand)

Bild 41
Bestückung zu Platte 06
für Bild 40

Bild 42
LC-Tongenerator (Ausnutzen der Hörerinduktivität), wahlweise lichtgesteuert (Null ist Minuspol der Batterie)

)* bzw. Brücke

43

44

45

46

47

48

Bild 43
Bestückung zu Platte 08 für Bild 42

Bild 44
Zweiklanghupe, handgeschaltet

Bild 45
Bestückung zu Platte 09 für Bild 44

Bild 46
Einfaches, stabilisiertes Netzteil für die Versuche und für Dauereinsatz, an 4,5-V-Ausgang Vorlast etwa 680 Ω bis 1 kΩ anschließen (vgl. Text)

Bild 47
Bestückung zu Platte 10 für Bild 46

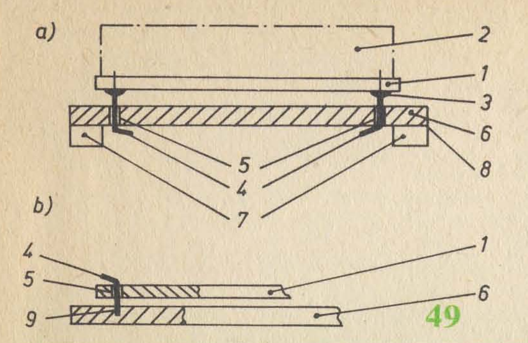


Bild 49
Leiterplattenbefestigung in Plastgehäusen bzw. auf Plastversuchsplatten: a – Drähte (4) in Leiterplatte (1) mit Bauelementen (2) gelötet (3), durch Bohrungen (5) in Plastplatte (6) gesteckt und abgebogen; Fußleisten (7) geklebt (8); b – Drähte (4) mit Lötkolben thermisch (9) in Plastplatte (6) eingedrückt, durch Bohrung (5) in Leiterplatte (1) ragend und umgebogen

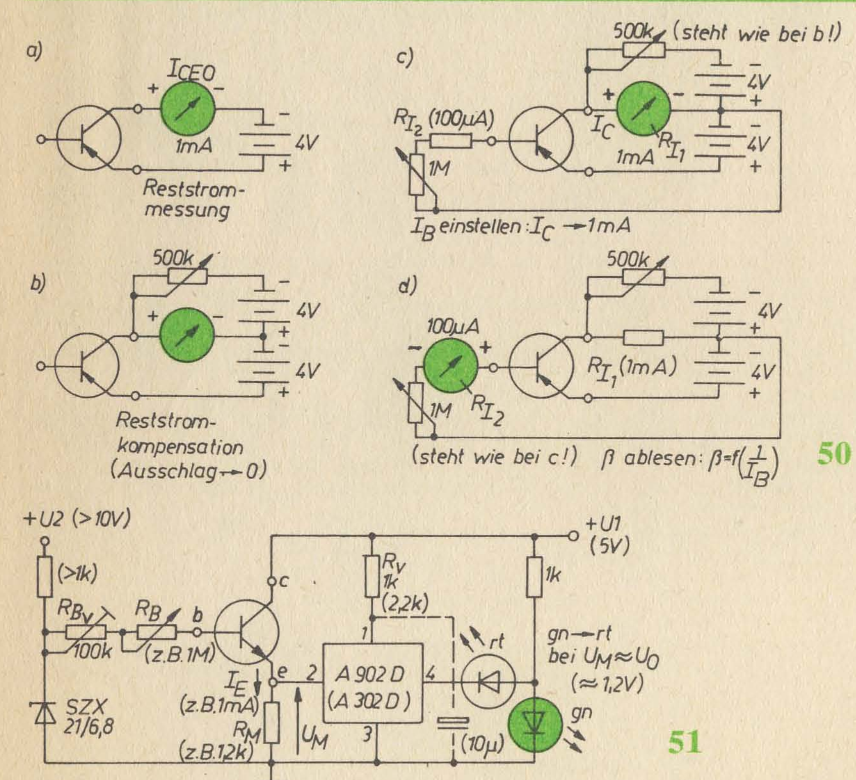
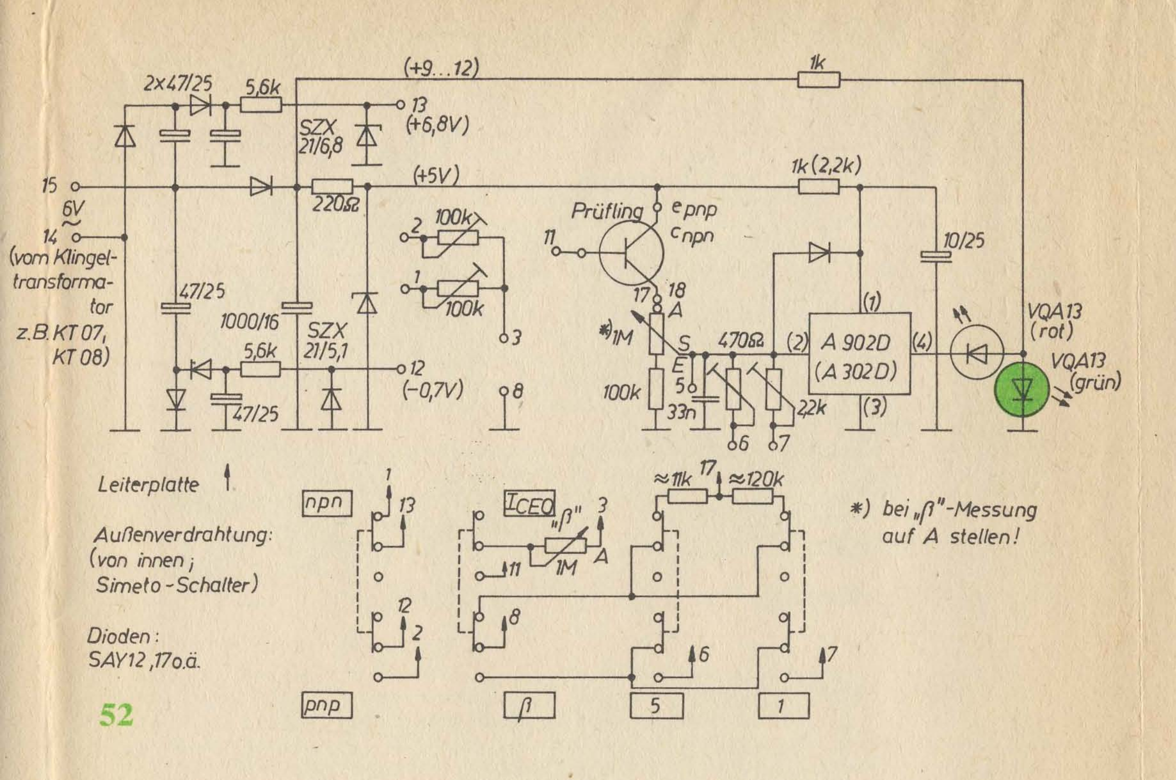


Bild 48
Einzelheiten zum Gehäusebau aus Plastmaterial: a – Gehäuse mit einrastendem (Montage-) Boden aus 2 aufeinandergeklebten Platten (2); 1: geklebt; b – sparsamere Rastung: 3 Haltestreifen, 4 Fußleisten; c – Verschraub- oder Verstiftmöglichkeit (6); 5: hochkant geklebte Haltestreifen

Bild 50
»Transivar«-Prinzip (gebräuchlicher Transistortester mit Drehspulmeßinstrument)

Bild 51
Prinzip eines Transistortesters mit Anzeige bei Erreichen des vorgegebenen Arbeitspunkts; Ablesen von β an Potentiometerskale; nur für npn-Typen dargestellt



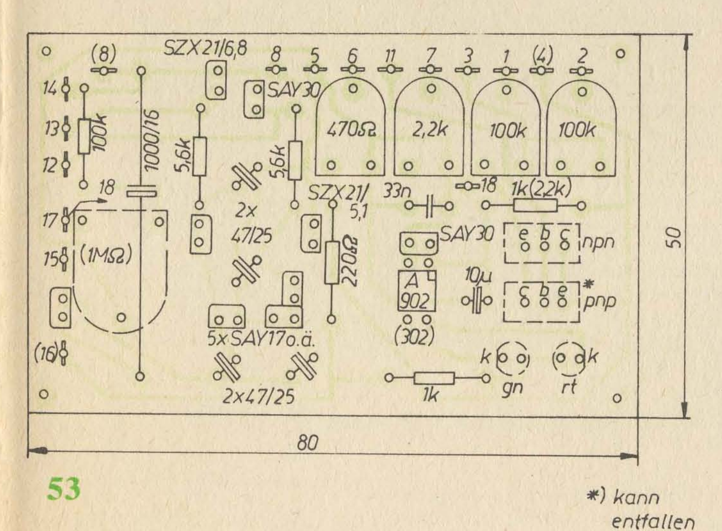
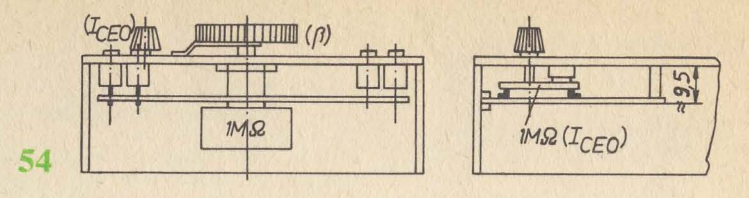


Bild 52
Gesamtstromlaufplan eines Transistortesters für Kleinleistungstransistoren vom npn- und vom pnp-Typ sowie zum Bestimmen der Größenordnung von Restströmen

Bild 53
Leiterplatte des Transistortesters nach Bild 52 (gestrichelte Teile auf Leiterseite montiert). Bei 5-Pol-Fassungen 2. an 1. und 4. an 5. Anschluß biegen und anlöten!



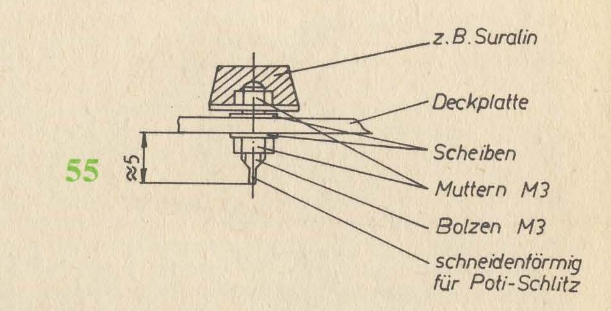
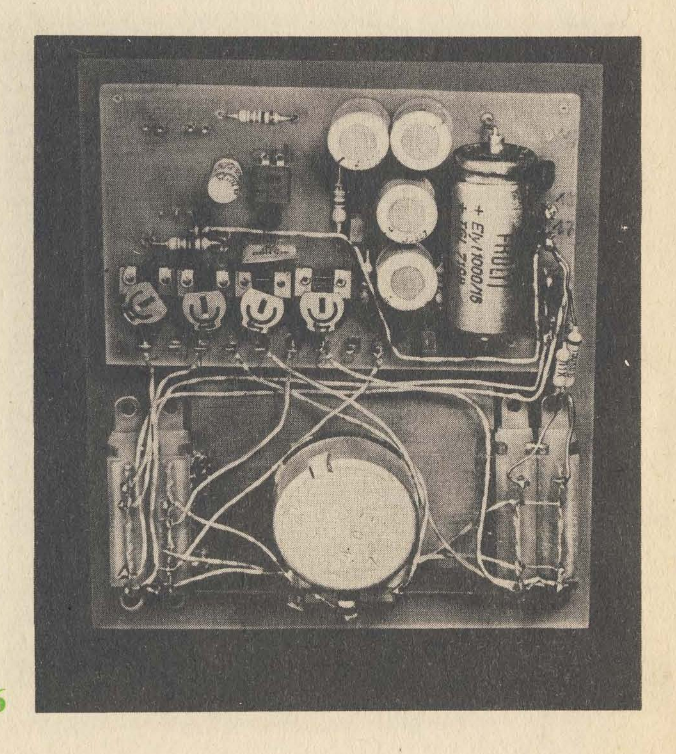


Bild 54
Gehäuse zum Tester (nur wesentlichste Einzelheiten dargestellt)

Bild 55
Bedienteil des Reststrompotentiometers (bei Bedarf): M3-Schraubbolzen, angefeilt wie Schraubendreherspitze, mit kleinem Drehknopf (isolieren, sonst wird Anzeige durch Berühren beeinflußt!)

Bild 56
Ansicht des Mustergeräts (Versuchsaufbau)


56

1. Auflage · © Militärverlag der Deutschen Demokratischen Republik (VEB) – Berlin, 1982 · Lizenz-Nr. 5 · LSV: 3539.
Lektor: Rainer Erlekampf · Typografie: Helmut Herrmann · Printed in the German Democratic Republic · Gesamtherstellung: Grafischer Großbetrieb Sachsendruck Plauen · Redaktionsschluß: 20. September 1981 · Bestellnummer: 746 367 8